NHK
電子立国 日本の自叙伝
完結

8ミリ角の半導体をめぐる
男たちのドラマ!

渾身のノンフィクション巨編―全2,800枚.!!

半導体に憑かれた男たち

日本放送出版協会

半導体王国・日本は、いかにして生まれ
築きあげられたのだろうか。
本書は、半導体文明の発達を担った人たち——
いわば「石に憑かれた男たち」を日米に追って
半導体産業の歴史的全貌を描いた
迫真のドキュメンタリーである。

NHK

電子立国 日本の自叙伝 完結

相田 洋

日本放送出版協会

NHK
電子立国 日本の自叙伝［完結］

目次

第1章■知能をもった道具の登場　7

集積回路の性能向上と価格の下落　8
LSIを育てた〝電卓戦争〟　11
米軍用より過酷な劣化試験　14
鍛えられた信頼性が生んだ飛躍　17
日本製半導体の輸出激増　19
電子式交換機の仕組み　23
道具の〝頭脳〟はマイコン　28
マイコンの仕組みと働き　31
電気炊飯器の格納プログラム　34
CPUは完全支配の指揮センター　38

第2章■半導体メーカーの興亡　45

トップエンジニアのスカウト合戦　46
物理学博士の経営手腕に白羽の矢　49
新しい事業への意欲　52
社長の連続交替から破滅の淵へ　56
栄光の半導体企業の哀れな終幕　59
フェアチャイルド通りの廃屋　61
コアメモリーの二進法情報　68
シリコンゲートによるMOSテクノロジー　74
画期的デバイスの誕生パーティ　78
ストアード・プログラム方式の電卓　80
米新興企業への汎用LSI発注　84
コストと性能のバランス探し　89
四ビット・マイクロプロセッサーの発想　95
迫られた開発案の選定　100

第3章■マイクロプロセッサーの誕生　105

ストアード・プログラム電卓の実現　106
共同開発者の絶大な〝自負〟　111
マイクロプロセッサーの設計法　117
マスクづくりの壮絶な作業　122
初のマイクロプロセッサー駆動　126
通産省・税関との折衝難航　130
エミュレーション装置の駆動実験　134
並みの神経では論理設計は無理　144
〝石の中のコンピューター〟始動　148

第4章■資本主義から“技本主義”へ　153

初の国産マイクロプロセッサー　154
二チップからワンチップへ　158
市場性への首脳部の懐疑　161
揺れた「特許申請」の結末　165
挑戦的プランへの参画　170
一世一代の晴れ舞台　175
マイクロプロセッサー搭載のパソコン　181
シリコンチップ上の知能の全貌　186
困難でリスキーな開発への意志と情熱　193
産業技術への導入でリードした日本　195

第5章■半導体関連技術の競演 199

集まり競う最先端技術 200
電気生理学がとりもつ半導体との縁 205
御大典にちなんだ商標「タイクン」 212
ないない尽くしの半導体産業 217
チップを切る刃の開発 220
〝一〇〇ミクロンの壁〟を超えた刃 227
〝砥石屋〟から切断機メーカーへ 235
旧海軍の実力派設計の壮絶な試作機 238
アメリカ製に負けない切断機の完成 243
「黒山の人だかり」から世界市場へ 247
アプリケーション・エンジニアの効用 250

第6章■異能集団の技術統合 257

チップを載せる板の世界的企業 258
アメリカで拾ってきたリードフレーム 264
モノづくりの魂は体験から 269
半導体製造技術の日米競合 273
東南アジア製アメリカブランドのIC 281
マイクロプロセッサーへの着目 286
日本のメーカーが世界的メーカーに 289
図形密度アップによる新装置 295
光学機器メーカーによる露光装置開発 299
発想も方法も異なる技術者たちの結束 303
一〇〇キロ先の高さが五センチの傾斜 307
定温・定湿中での精度向上 313
人間の資質に依存する先端技術 317

第7章■半導体工場の空気と水 321

ゴミ退治専門の新入女性社員 322
世界に先駆けた臨海半導体工場 327
休日返上の〝ゴミ博士〟 329
家族ぐるみの防塩・除塩データ採取 337
半導体用洗浄水の追究 344
ハイテク工場の排水処理の理想と現実 349

第8章「マイクロプロセッサー王国」日本 355

超LSIへのアプローチ 356
酒場になった専務理事室 358
ライバル企業とのチームワーク 361
アメリカの国家的戦略の指針 365
アメリカ企業を揺るがすベンチャー資本 372
〝アメリカ半導体産業の父〟死す 377
時代の幸運と自らの努力で育った日本 382
必要な技術をクリエイトする使命 386
日本的伝統が半導体技術の習得の決め手 390
日本人技術者の知的集団主義 392

第1章

知能をもった道具の登場

集積回路の性能向上と価格の下落

第二次大戦後間もなくアメリカで生まれたゲルマニウムトランジスタ。その技術を必死でものにした日本の企業は、日本の女子従業員の目と手と根気に助けられて、アメリカをも凌駕するゲルマニウムトランジスタの生産国にのし上がった。

同じ頃、アメリカでは軍事用のトランジスタの半導体材料が、ゲルマニウムからシリコンへ移行していく。ゲルマニウムは高い温度に対しては動作が非常に不安定になるために、軍事用として使うには信頼性に欠けていたのである。最初にシリコントランジスタの工業化に成功したのが、新興企業フェアチャイルド・セミコンダクター社であった。

トランジスタの発明者の一人ウィリアム・ショックレー博士は、ベル研究所を退職して西海岸の故郷パロアルトに帰り、半導体製造会社のショックレー研究所を設立するが、そのとき全国から選りすぐりの秀才たちを集めた。

博士の名声に憧れて馳せ参じた二十数人の若者たちであったが、やがて博士の経営者としての能力に疑いを抱き、そのうちの八人が集団で博士のもとを離脱する。世に〝裏切りの八人〟と呼ばれた若者たちである。彼らがフェアチャイルドという名の航空カメラ機器会社から資金援助を仰いでつくった会社が、フェアチャイルド・セミコンダクター社であった。

若者たちが会社創立後に熱中して開発に取り組んだのが、シリコンを使ったメサトランジスタである。他企業がどこもシリコンには二の足を踏んでいた時代に、いち早く耐熱特性の良好なシリコントランジスタをものにした。この野心的な新興企業に注目したのが、コンピューターメーカーのＩＢＭ

であった。軍事用のコンピューターに、フェアチャイルド製のシリコントランジスタを使ったのである。これがきっかけとなって、若者たちの企業は、一九六〇年代の半導体技術をリードする世界企業に飛躍していった。

順風満帆のフェアチャイルド社を襲ったのが、出荷後に発生する不可解な劣化であった。ミニットマンミサイルのために大量のシリコントランジスタを供給していたフェアチャイルド社は、この劣化現象をすみやかに解決できなければ、たちまち倒産に追い込まれるかもしれなかった。原因は意外なところにあった。

当時は、空気から遮断するためにトランジスタを金属容器に格納したが、容器を溶接するときに微細な金属粒子が飛び散って容器の内側に付着した。それが、時間がたつにつれ、振動などでシリコン表面に落下した。金属微粒子は、シリコン表面に剝き出しになっているPN接合部分の両領域にまたがって漂着し、せっかくできているPN二層を短絡させてしまったのである。悪いことには、そうした現象はユーザーが装置に組み込んだあとに頻発した。

この対策に追われたジーン・ハーニーが考えたことは、メサトランジスタの構造を変えることであった。メサ型では、シリコン酸化膜のうち電極部分を残すほかは、薬品で削りとってしまった。そのために、PN接合部分が表面に露出することになり、ここに金属微粒子が付着して、出荷後に劣化を起こした。それだけでなく、製造過程で汚染物質が付着して製造歩留まりが急落した。いずれにしても、酸化膜の除去が厄介な問題の原因になっていたのである。

それなら、酸化膜を削除しないで残せばPN接合部分が酸化膜の下に格納されてしまうではないか、と気がついたのはジーン・ハーニーであった。電極を残して他の部分をすべて酸化膜の下に入れてし

まえば、たとえ金属微粒子が落下してもＰＮ接合の部分は絶縁性の高い酸化膜に保護されているので、短絡させられることはない。したがって、トランジスタの劣化を未然に防げるというわけである。あるいは、製造途中で作業員が誤って汚染物質などを付着させても、歩留まり悪化にはつながらない。これが新しく発明されたプレーナトランジスタの長所であった。

この技術は、すぐに実用的な集積回路に発展していく。酸化膜の下にトランジスタだけでなく抵抗やコンデンサーやそれらを結ぶ金属配線までも格納してしまえば、一つの装置がちっぽけなシリコンチップの中に入ってしまう。こう考えたのが、フェアチャイルド社のロバート・ノイスであった。一九六一年のことである。

彼がこれを生み出す二年ほど前、テキサス・インスツルメンツ（ＴＩ）社のジャック・キルビーが、ゲルマニウムのメサトランジスタと、それが載っているゲルマニウム基板の抵抗値と静電容量を利用して、世界で初めての集積回路をつくってみせた。これは、トランジスタの電極部と抵抗やコンデンサーの端子とを金線でシリコン結晶の外側でつないでいた。

しかし、これはすぐに、ロバート・ノイスが考えたのと同じように、シリコン酸化膜の下に格納されるようになる。集積回路の登場で電子機器が超小型になり、超軽量になり、微小電力で動くようになり、信頼性が劇的に向上した。最も信頼性を損なう原因となっていた配線が、〝石〟の中に入ってしまったからである。

一九五七年に打ち上げられたソ連の人工衛星スプートニクは、アメリカに大きな衝撃を与えた。ロケット技術では、当時のアメリカは、逆立ちしてもソ連に追いつけなかったからである。アメリカはソ連との格差を縮めるために、まず巨大推力をもったロケットの開発を目指す一方、ロケットに搭載

する電子装置の超小型化を推進した。そのためには、莫大な資金を惜しげもなく注ぎ込んだのである。

国防総省、とりわけ空軍は半導体素子の性能や品質向上のためには思い切った開発資金を投じ、高い価格の製品を買い取った。一九六〇年にケネディ大統領が、一〇年以内に人間を月に送り込む、と宣言したアポロ計画も、集積回路の性能と品質を劇的に向上させずにはおかなかった。この計画の過程で発達した集積回路は、その有効性と信頼性が、人間の月面着陸で完全に証明された。アメリカの陸海空三軍の兵器が集積回路に置換されていく。こうして集積回路の性能は飛躍的に向上し、価格が急速に下落したのである。

■LSIを育てた"電卓戦争"

集積回路の時代に入り、集積度競争が起きてくると、シリコンに搭載するトランジスタもそれまでとは異なったタイプのトランジスタが有利になった。それがMOSトランジスタである。アロイ型、成長型、メサ型、プレーナ型など、いずれもが、PN接合をシリコン内部に形成させることでトランジスタをつくる技術であった。これらを、バイポーラトランジスタと総称した。

バイポーラとは、二極性という意味である。接合型トランジスタが「電子」と「正孔」という極性の異なる二つの「電気の運び屋」の働きで動作することから、バイポーラトランジスタと呼ばれた。それに比べ、MOSトランジスタは「電子」か「正孔」かどちらか片方だけで動作するので、バイポーラに対してユニポーラ（単極）トランジスタと呼ばれるのだそうである。

MOSトランジスタはバイポーラよりは動作原理が単純で、小型にでき、低い電圧で動き、電力消

費量が少なく、製造するのに少ない工程で済んだ。ICに集積するには、まことにうってつけのトランジスタであった。しかし動作が非常に不安定で、最初は工業化すら危ぶまれた。シリコン酸化膜にナトリウムなどアルカリイオンが付着すると、それが肝心の酸化膜の中を自由に移動した。

酸化膜の上には電極用の金属膜をつけるのだが、いったん酸化膜の中にアルカリイオンが付着すると、電極に電気が加えられるたびに酸化膜の中のアルカリイオンが動き出して、トランジスタの動作が定まらない。結果として動作不安定になり、使いものにならない。この原因がナトリウムなどのアルカリイオンであることを突き止め、対策を確立したのは、フェアチャイルド社の技術者たちであった。

ゲルマニウムトランジスタの製造にあぐらをかいてシリコン技術に後れをとってしまった日本の半導体産業は、続く集積回路でも、出後れてしまった。集積回路はシリコン技術の上に築かれたものであったからである。

こうした日本の半導体産業に飛躍のきっかけを与えたのが、〝電卓戦争〟であった。電卓メーカーは、激烈な生存競争に勝ち残るためには、常に新しい技術と安い価格を誇示する必要に迫られた。電卓メーカー側は、半導体メーカーに次々と技術革新を要求し、同時に、膨大な集積回路を使ったのである。誕生後間もない集積回路を金に糸目をつけずに育てたのが、アメリカの宇宙開発と軍需産業であったとすれば、それを引き継いで育てたのは、日本の電卓市場であった。

電動計算機を電子化することから始まった日本の電子式卓上計算機は、最初トランジスタを使っていたが、すぐにMOSトランジスタを集積したLSIを使うことを考える。MOS・LSIこそが小型・軽量・低電力を目指す電卓には恰好な素子だったからである。しかし日本の半導体メーカーは、

安定したMOS・LSIを量産する技術がなかった。電卓用の回路をMOSトランジスタでLSIに集積してほしいという電卓メーカーの要請に、どこの半導体メーカーも応じなかったのである。
やむなく電卓メーカーは、電卓用LSIの設計製造をアメリカの半導体メーカーに発注した。シャープの注文を受けたノースアメリカン・ロックウェル社は、ミニットマン・ミサイルやアポロ計画の月着陸船に搭載する超小型コンピューターのLSIをつくっていた。彼らはその過程で蓄積した技術を、電卓用LSIの設計に惜しみなく注ぎ込んだ。
MOS・LSIを使った電卓は爆発的に売れ、シャープもロックウェル社も、莫大な利益を手にした。このことがきっかけになって、日本の電卓メーカーが一斉にアメリカの半導体メーカーとLSIの製造契約を結ぶのである。シリコントランジスタでも、集積回路でも、MOS・ICでも、アメリカに後れをとりがちであった日本の半導体メーカーは、いよいよMOS・LSIの時代が始まろうというそのときに、当時としては最も大口の顧客であった電卓メーカーに去られてしまったのである。
間もなく、もっと困ったことが起きてきた。アメリカの半導体メーカーが、低賃金を求めてLSIの組立て工場を東南アジアに建て、ここで生産した安いLSIが日本に入ってきたのである。猛烈な価格競争に明け暮れていた電卓メーカーは、こぞってアメリカブランドの東南アジア製LSIを使い、日本の半導体メーカーは、一層窮地に立たされた。昭和四一年から四二年にかけてのことである。
やがて、事態は思わぬところから好転した。東南アジア製のLSIに、大量の不良品が発生したのである。この事件がきっかけとなって、電卓メーカーは日本製LSIを使うようになる。このときから半導体メーカーは、再び電卓メーカーのあくなき要求と大量発注に支えられて、アメリカとの技術格差を急速に縮めていったのである。

米軍用より過酷な劣化試験

さて、日本製ＬＳＩの品質と信頼性を飛躍的に向上させたのは、電卓戦争もさることながら、電電公社（ＮＴＴの前身）の電子交換機「ＤＥＸ２」計画だと言われている。電話交換機の故障を恐れた電電公社が、参加各社の試作するＬＳＩに対して、アメリカの航空宇宙局（ＮＡＳＡ）や国防総省のＭＩＬ（軍用）規格よりもはるかに過酷な強制劣化試験を課した。この試練を経て、日本製ＬＳＩの信頼性が急速に向上したというのである。

ところで、ＬＳＩが実用化していく時代、日本には、その後の半導体史に大きな影響を与えた国家規模のプロジェクトがいくつか進行していた。新幹線の自動運行システム、座席予約システム、あるいは、電電公社の電子式電話交換機計画、通称ＤＥＸ２計画などであった。

終戦直後には全国でわずか五四万に過ぎなかった加入電話は、二〇年後には一〇〇〇万を超え、市外電話がダイヤル即時でつながる地域は全国五〇〇〇か所に達した。これらはいずれも、戦前からのステップ・バイ・ステップという純然たる機械式交換機を、クロスバー交換機に変えることによって可能になった。

しかし、急増の一途をたどる電話加入人口に対処し、プッシュホンやデータ通信など多様なサービスを拡充するには、電話回線の増設と交換能力の強化が大きな課題となった。そのためには電話交換システムの電子化が必要であった。

電電公社が機械式のクロスバー交換機を電子式交換機に変える計画に着手したのは、一九五四年（昭和二九年）のことである。最初は、α型と呼ばれる実験機を試作し、やがてβ型を経て、一〇年後の一

電文テスト

九六四年（昭和三九年）には、DEX（Dendenkosha Electric Exchange）一号の開発に進んだ。

それらの長い蓄積をもとに、本格的な電子式交換機DEX2号機を開発した。これによって、クロスバー交換機の三〇倍の交換能力が実現した。完成したのは、一九六九年（昭和四四年）の一二月一八日、東京の牛込電話局に設置された電子式交換機を皮切りに運用が開始された。

このDEX2号機の開発プロジェクトに、電電ファミリーと呼ばれる五社の半導体メーカーが参加した。日立製作所、東芝、日本電気、三菱電機、富士通が、電子式交換機の頭脳部である中央演算装置に使うICを、競って試作開発したのである。

当時日本電気の製造技術課機械設計係長だった鈴木政男さん（六七歳）は、電電公社の想像を絶する過酷なテストを、次のように回想する。なお、鈴木さんには本書の上巻でも登場していただいたが、略歴を簡単に記す。その後、九州日本電気の社長を退任され、インタビューしたときは、ICテスターの製造会社ミナトエレクトロニクス社の常任監査役であった。現在は、悠々自適の生活を送っておられる。

鈴木政男氏

鈴木　ICを電電公社が電話回線の電子式交換機用に使うことになり、その場合、信頼性がいちばん大切なわけですから、電電公社は過酷な信頼性試験を課してきたんですね。それは想像を絶する厳しさでした。沸騰しているお湯の中にICを叩き込んだり、容器を高速回転させて遠心力で猛烈なG（重力）をICに与えたり、それはムチャクチャなテストにも耐えることを要求したんです。

電子式交換機DEX2に使われたIC。西洋ガンバコと技術者たちは呼んだ。

——電話のネットワークが故障したらパニックになりますから、電電公社も必死ですね。

鈴木　私は現場の技術屋なものですから、現場サイドとしては、電電公社の要求には泣かされました。ICなんてわれわれは腫れ物に触るようにつくっていたわけですが、公社のほうではそれを床に叩きつけたり、沸騰したお湯に入れたり、ヘリウムガスにさらしたり、もう考えられる限りの、ありとあらゆる、乱暴で過酷な試験をやっては次々と無理難題を押しつけてきた。もう、これはかなわん。これは明らかにオーバークオリティでないか、とわれわれは悲憤慷慨しましてね。

——へえ、それほど厳しかったんですか。

鈴木　悪口を言ってましたよ。つくっては

捨て、つくっては捨てるんじゃ、まるで西洋ガンバコをつくっているのと同じだってね。

――何ですか、その西洋ガンバコっていうのは？

鈴木　ほら、死体を入れる棺桶。西部劇に出てくるでしょう、長い箱。われわれのつくっていたＩＣのケースが、そっくりだったんですよ、西洋棺箱に。捨てるのが前提でつくるのは、棺桶くらいなものですからね。恨みを込めて、ガンバコって呼んでいたんですよ。

――つくっては捨て、つくっては捨てるんですか。

鈴木　試作をするでしょ。そしたら電電公社で検査するでしょ。沸騰しているお湯の中に入れて、「これは何時間しかもたないから駄目」とかね。それから振り回してみて「こんな、*G*に弱いものは駄目だから、もっと*G*に強いものにつくり直せ」とかね。

■鍛えられた信頼性が生んだ飛躍

ＮＡＳＡの基準では、耐えるべき*G*が地球重力の七倍、人間が耐えられる限界に合わせてあった。人間が使う装置である以上は、人間が耐えられない重力を超える基準を設けても意味がない、とＮＡＳＡは考えた。しかし日本の電電公社は、ＮＡＳＡの何倍もの*G*に耐えることを要求した。試験は間断なく一年中続き、電電五社と言われた参加企業の成績と順位が、定期的に参加各社に公表された。こうして、徹底的に信頼性を鍛え上げられた頃、先述したように、アジアでつくられたアメリカ製ＩＣに不良品が頻発した。電卓メーカーは、雪崩を打って、信頼性の向上した日本製ＩＣに乗り換えたのである。

鈴木　電卓戦争の時代ですが、日本の電卓メーカーは、競ってアメリカからLSIを輸入しましたね。やがてアメリカは、LSIの組立て基地を東南アジアに移した。労賃が安くて、消費地日本に近かったからです。LSIの値段は一〇分の一に下落。日本のLSIメーカーは、完全に息の根を止められるかもしれないと震えあがった。

――ここで〝神風〟ですか。

鈴木　そう。アメリカがLSIの組立て工場をアジアに持っていくに及び、値段は劇的に低下したんですが、同時に製品の質も落ちた。ついにある年、非常に大きいトラブルを起こして、大量の不良品を市場に出してしまいました。

――これはチャンス。

鈴木　そう。このときはすでに日本のLSIは、電電公社のDEX2計画で信頼性だけは徹底的に鍛えられていたから、ここぞと電卓メーカーに国産LSIの優秀さを売り込んだ。使ってみると、アメリカブランドのLSIをはるかに凌駕していた。

――市場奪回ですね。

鈴木　国産LSIは非常に信頼度が高いということで、アメリカに奪われた市場をまたたく間にとり戻せたんです。こんな経験から、やっぱり信頼性こそが重要であると骨身にしみてわかったわけでして、信頼性向上には一段と力を入れたわけです。それに加えて、自動化を真剣に考えた。

東南アジアの低賃金に対抗するために、日本の半導体メーカーは、半導体製造装置の自動化を推進した。その経緯については後章で詳細に触れるが、自動化の結果、生産性が五〇倍に上がり、人の手

がウエハーに触れなくて済むようになったために信頼性が何倍も向上した。低賃金に追いつめられていた日本企業は、それを逆手にとるようにして飛躍したのである。

日本製半導体の輸出激増

上に掲げた表は、一九八〇年（昭和五五年）三月二五日に、日本電子機械工業会がワシントンのメイフラワーホテルで主催したセミナー「品質管理：日本の高生産性の鍵」で発表された報告のさわりをまとめたものである。発表者は、ヒューレット・パッカード社のゼネラルマネージャー、R・W・アンダーソン。彼はユーザーの立場から、当時主流であった一六キロビットのMOS・LSIメモリーについて、日本製とアメリカ製の品質比較検査を行ったのである。

日本製品と比較されたアメリカ製品は、インテル社、モステック社、TI社の三社製であった。表のいちばん上の欄左側がUSA三社である。A社・B社・C社と付されたが、それぞれどの会社かは公表されなかった。同右欄のE社・F社・G社は、日本電気、富士通、日立製作所、など電電公社傘下の大企業であるが、これも、どの符号がどの会社かは伏せられた。

表1　16KビットのMOS・LSIメモリー〈日本製とアメリカ製の品質比較〉（鈴木政男氏のノートより）

	USA 3 社			日本 3 社		
	A社	B社	C社	E社	F社	G社
①窓口返品率	0.19%	0.11%	0.19%	0.00%	0.00%	0.00%
②出荷後不良率(MTBF)	0.099%	0.059%	0.267%	0.010%	0.019%	0.012%
③総合品質指数	86.1点	63.3点	48.1点	89.9点	87.2点	87.2点

①の受け入れ不良率は、ヒューレット・パッカード社の内規による製品受け取り基準をクリアした製品の比率である。基準以下の製品は当然、受け取りが拒否され返品されたわけだから、いわば窓口返品率でもある。日本製は、三社ともゼロ。アメリカ製は、一〇〇〇個に一個ないし二個の割合で返品されている。

②の出荷後不良率は、通称MTBF（Mean-Time Between Failure）と呼び、使用開始一〇〇〇時間経過後の不良発生率である。

アメリカのC社などは、一〇〇〇個のLSIを装置に組み込んで出荷したとすると、使用開始一〇〇〇時間後には二個以上が故障を起こしている勘定になる。比較された日本製は、最も悪いF社の製品でも〇・二個しか故障が起きない。つまり、アメリカ製は、日本製に比べて一桁も信頼性に欠けるというわけである。

同じセミナーが翌一九八一年の三月にも行われ、同じアンダーソン氏がデータを発表しているが、その報告では、アメリカ製LSIの信頼性が大きく改善されたと評価している。しかし、最初の報告がアメリカのユーザーに及ぼした衝撃的な影響は、払拭できなかった。一九八〇年の報告がきっかけになって、アメリカのコンピューターメーカーが雪崩を打って日本製ICを大量に使いはじめ、日本製半導体のアメリカへの輸出が激増したのである。

鈴木　一九八〇年の報告は、〝アンダーソンの爆弾報告〟と呼ばれて、当時は有名になりました。そこには日本製半導体の優秀さが正確に報告されていて、当時、アメリカ国内に衝撃的な波紋を投げかけたものでした。この時期が電電公社のDEX2計画の、ちょうど五年か六年後。日本の半導体メーカーが、DEX2で鍛えに鍛えられたあとなんですね。

——そうすると、電電公社の電子式交換機計画が日本製半導体の信頼性を飛躍させたんですか。

鈴木　ええ。いちばんのきっかけになったでしょうね。やがて日本の半導体メーカーは、さらに集積度の上がったLSIや超LSIになっても、電電公社の過酷な試験を常時行うようになり、それをクリアすることが当然というふうになっていくんです。もちろん、他の要因もありますよ。しかし、DEX2の試練が何と言っても決定的だったと、私は思いますね。たぶん皆さんも、異存はないと思いますね。

ちょうどよい機会だから、電子式交換機について触れておきたい。というのも、これから書こうとするマイクロコンピューター（俗にマイコン）を理解するうえで絶好の橋渡しになるのではないか、と考えるからである。マイコンが、数ミリ角のシリコンにつくり込まれた微小コンピューターなら、電子式交換機は、大きな部屋いっぱいに収められた巨大コンピューターだからである。両方ともコンピューターであるから、まず大きなほうの仕組みについて見ていこう。

電話交換機は、交換スピードを上げ、大量の通話量をできるだけ迅速確実に処理することを中心に発達してきた。

まず何よりも、切り替えスピードを上げるために、さまざまな工夫がなされた。人間の手による結線を膨大なリレースイッチに委ねていったのも、その一つである。しかし、それもやがて激増していく通話量に対処できなくなった。ここで、ICを多用した電子式交換機の開発が必要になったのである。動作スピードの点では半導体素子を使うほうが、リレースイッチとは比較にならないほど速いのは当然であった。

電子式交換機に変える重大な理由が、もう一つあった。交換作業に人間が介在する限り、処理能力

には限界があった。激増する通話量と多様化するサービス内容に正確迅速に対処するには、交換業務それ自体を自動化する必要があった。そのために開発された交換手不要の無人化システム、それが電子式交換機であった。それまで交換手が処理してきた仕事を機能別に分解して、電子機器にやらせようというのである。

ところで、話が少し回り道になるが、重要なことなので触れておきたいことがある。

ある目的を達成しようとする場合、方法が二通りある。「装置それ自体を工夫する」か「装置の使い方を工夫する」か、である。装置のことをハードウェアと呼ぶので、前者をハードウェア中心の考え方でハード・オリエンテッドな方法。反対に、装置はなるべく変えないで、使い方を工夫し、同じ装置をいろいろに使いわけていこうとするやり方が、後者である。これを、ソフト・オリエンテッドな方法と言うのだそうである。

ハード・オリエンテッドな方法は、言い換えれば「目的別に専用の機械をつくることで解決する方法」でもある。物事を迅速大量に処理するときにはよい方法であるが、その代わり一度つくってしまうと、つぶしが利かない。目的が変わると、機械も最初からつくり直すことになる。

もう一つのソフト・オリエンテッドな方法は、「可能な限り単純で基本的な汎用機をつくり、それを動かす手順をプログラムで組み、その手順に基づいて汎用機を目的に適応させる」ことである。プログラムを変えれば、同じ機械が別の働きをする。したがって、プログラム次第で用途に柔軟性が出てくる。その代わり、プログラムの優劣で機械の性能が決まってしまう。実は、これはコンピューターの考え方そのものである。

最初、門外漢の私などは、コンピューターを撮影するとき、何を撮ってよいのか見当もつかなかっ

たために、動くものに目を奪われて、くるくる回る磁気テープやピカピカ点滅するランプ群などにレンズを向けたものである。ところが、よく聞いてみると、コンピューターの心臓部はただの箱であった。中には、無数のＬＳＩが並ぶプリント基板が箱いっぱいに入って差し込まれているだけである。動きもしなければ、光が出るわけでもなく、音もしない。まったくカメラマン泣かせの装置である。

このように、コンピューターそれ自体は、単なる装置に過ぎない。それを多目的に機能させるには、目的別のいろいろなプログラムを別途、用意する必要がある。あの無味乾燥なただの箱を、ある人は金利計算に使うかと思えば、ある人は天文学の計算に使い、ある人は土木設計の強度計算にも使うことができる。それは、それを動かす駆動手順が違っているからである。この手順は、二進数（0と1だけで表現された数字）で書かれた膨大な命令群で構成されているが、これを、プログラムと言ったり、ソフトと言ったりする。このプログラムを変えてやれば、同じコンピューターがさまざまな用途に使えるというわけである。したがって、コンピューターはまぎれもなく、ソフト・オリエンテッドな目的達成法である。

電子式交換機の仕組み

ここで、本題に戻る。

電電公社では、大量で迅速な通話処理が必要だったばかりでなく、同じシステムを使って多目的で複雑な業務を処理するには、ソフト・オリエンテッドな方法を取り入れることが合理的であった。通話者同士の接続。通話状況の監視。各加入者の通話料計算、通話状況の統計分析、回線の定期試験と

故障診断。これら複雑多様な多くの仕事を一つのシステムにやらせるには、装置中心の考えからソフト中心の考え方へ、つまりコンピューターを中心とするシステムに転換せざるをえなかったのである。

交換システムをコンピューター化せざるをえなかったもう一つの大きな理由は、その柔軟性と融通性にあった。処理すべき仕事の内容が増えたり変わったりした場合、関連装置に大きな手を加えることなく、プログラムを変えるだけで、対応できたからである。電話事業に対する時代の要請が激しく変わっている時代に、これは非常に重要な利点であった。

では、電子式交換機の仕組みを簡単に見ておこう。本当は私たち素人が見ると、それだけで頭痛がしてくるほど複雑な機能図になるのだが、ここでは素人流の思い切りのよさを発揮して、次のように全体を四つの機能にまとめてみた（図1）。①固定記憶装置、②一時記憶装置、③中央処理装置、④入出力制御装置などである。

図1　電子式交換機の仕組み

①の固定記憶装置には、DEX2のさまざまな装置を動かすための、さまざまなプログラムが格納されている。たとえば、最も重要なプログラムが加入者相互の接続手順を司る「呼び処理」プログラム。それは入力、内部接続、出力などの処理手順をプログラムに組み立ててある。そのほかに、運用管理プログラムや試験診断プログラムなどがある。運用管理プログラムは、通話の疎通状況を監視したり、通話状況の統計

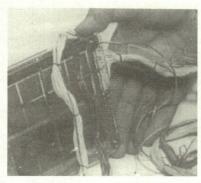
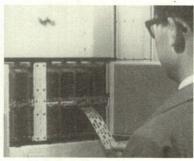
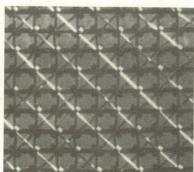
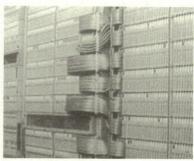
をとったり、料金を賦課したりするためのプログラムである。試験診断プログラムは、何らかの障害でサービスから切り放された装置の診断や、定期試験などを行うプログラムである。

このように、交換システム全体を動かす手順は、二進数（0と1）を使って膨大な命令群に組み立てられている。DEX2では命令群を記録する方法として、メタルカード・メモリーを使った。金属板の必要な場所に孔を穿つことで、情報を記録させる方法である。金属板に孔を開け、それを誘導コイルの中に挿入すると、孔の位置に相当する場所に誘導電圧が生じるが、それを取り出すことで情報を読み出す方式であった。誘導電圧が生じれば「1」であり、生じなければ「0」である。つまり、孔が開いているところは「1」、開いていない場所は「0」というわけである。

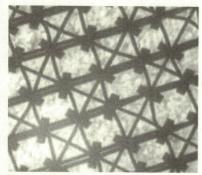
これは金属の孔を塞がない限り情報が消えないので、長期にわたって使う「変える必要のないプログラム」を格納するには適していた。システムの機能を追加したり変更したりするときは、新しいプログラムをメタルカードでつくり直すことになる。

③の中央処理装置は、①の固定記憶装置に格納されている命令を順次取り出して、解読し、必要な指令に組み立て直し、④の入出力制御装置に送り、命令通りの動作をさせる。たとえば回線から呼び出し信号が入ってくると、中央処理装置が①の固定記憶装置に格納されている「呼び処理」プログラムから命令を引き出し、通話を希望する加入者同士を交換機の中でつなぎ合わせていく。

ところで、交換システムが一つの「呼び出し」に応じて通話を完了させるまでには、数多くの情報が必要である。何番の加入者が受話器を取り上げたのか、ダイヤルした番号は何番なのかなどである。

これらの情報を、交換機が加入者同士を結び終えるまでの間、一時的に記憶しておく――いわばメモ用紙代わりの装置が必要である。それが、②の一時記憶装置である。この装置が記憶した情報は、使

ＤＥＸ２の固定記憶装置，メタルカード・メモリー

ＤＥＸ２の中央処理装置

ＤＥＸ２に使われたコアメモリー

い終わったところで抹消され、装置の中は白紙の状態になり、次にやってくる新しい情報を待つ。

ＤＥＸ２の場合は、一時記憶装置としてコアメモリーを使っている。直径五ミリくらいのリング状の一種の電磁石フェライトコアを使ったもので、コアリング一個一個を磁化するか磁化しないかで、情報を記録していく。情報はすべて二進法の「０か１」に置き換えて記録する。磁化したコアは「１」、磁化しないコアは「０」である。記録した情報を読み出すときは、コアの中を通る電線に微弱な電気が生ずるか生じないかで読んでいく。起電力があれば「１」であり、起電力がなければ「０」である。一時的に記録した情報が不要になれば、コアをいったん全部、消磁して新しい情報を待つ。

こうした固定記憶装置に格納、あるいは蓄積されたプログラムによって、中央処理装置を動かし、その指令に基づいてシステムが動いていく方式を、「蓄積プログラム制御方式」、あるいは「ストアード・プログラム方式」と呼ぶ。それまでのクロスバー交換機はリレーと接点を結ぶ布線によって構成されているので、「布線論理方式」と呼んでいた。

もう一度、大事な点をまとめておく。電子式交換機は、コンピューターを中心とする巨大なシステムである。最大の特徴は、交換業務の仕方や各種装置を動かす操作手順など、システムを動かすのに必要な手順をプログラムに組んで、固定記憶装置に覚え込ませておく。中央処理装置がそれらを順次取り出し、その内容に従って他の装置を動かし、全体として交換業務を自動的に遂行させていく点にある。したがって、システムの機能を追加変更する場合でもプログラムを変えるだけで済み、それまでの交換機になかった柔軟性と融通性をもつことになる。こうしたやり方を、「蓄積プログラム制御方式」とか「ストアード・プログラム方式」と呼び、目的達成の手段としてもっぱら装置だけに頼る〝ハード・オリエンテッドな方法〟に対して、ソフトに大きく依存する〝ソフト・オリエンテッドな方法〟

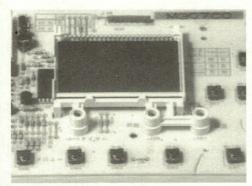
と呼ぶのだそうである。
中央処理装置、固定記憶装置、一時記憶装置、ストアード・プログラム方式、ソフトオリエンテッドな方法といった言葉が使われたが、これからも頻繁に登場することになるので頭の片隅に入れておいてほしい。

道具の"頭脳"はマイコン

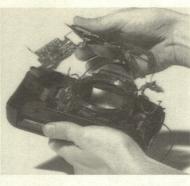
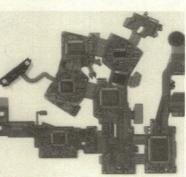
私たちの身の回りにある道具が知能をもちはじめてから、すでに久しい。最近のカメラは、レンズを被写体に向けるだけで、露出、シャッタースピードはもちろん被写体までの距離を測り、レンズのピントまで自動的に合わせてくれるようになっている。
電気釜に洗ったお米と水を入れ、炊きあがりの時間をセットし、ボタンを押すだけで指定の時刻にはご飯が炊きあがる。電気洗濯機に汚れた衣類と洗剤を入れ、衣類の量を記憶させるだけで、水を張り、その衣類に最もふさわしい方法で洗ってくれ、絞ってくれる。電気掃除機は床を這う吸引部分が床の状態が板か畳か絨毯(じゅうたん)かを感知・判断して、最も適した吸引力で掃除をしてくれる。冷蔵庫、エアコン、扇風機、ファクシミリなど数えあげればきりがない。
オフィス革命をもたらした数々の事務機も、マイコンの独壇場である。たとえば複写機。数多くの半導体素子が使われており、その頭脳部分を支配しているのも、マイコンである。
鉄の分厚い板に複雑な形を精密に切り出していく金型加工装置。それを駆動する頭脳部分には膨大な数の半導体素子が使われているが、その制御を司っているのは、マイコンである。自動車の車体溶

接ロボット、シリコン単結晶引き上げ装置など無数の産業ロボットも、マイコンのかたまりである。
湾岸戦争で目をみはるような活躍をしたさまざまな知能つきの兵器。標的を自動的に追尾捕捉する対艦ミサイル。あらかじめ入力された標的までの情報を、実際の地形と照合しながら地表すれすれに標的に接近し破壊する巡航ミサイル。これも頭脳部分は、マイコンである。
ところで、多少余談じみてくるが、ホームベーカリーが夜を徹してパンを焼く様子は、感動的でさえある。粉と水と少量の砂糖とドライイーストを入れ、焼き上がり時間を指定してボタンを押す。たとえば、焼き上がり時間を翌朝に指定すると、機械は一晩中、粉を練り、生地を叩き、寝かせ、再び練り上げ、釜の中の温度を上げて一次発酵させ、練り上げ、二次発酵が完了したところで釜の中のヒーターが赤熱する。暗闇の中で時折思い出したようにギーコギーコと生地を練り、パタンパタンと叩いては生地を鍛えていた機械がぱたりと音を出さなくなると、今度は香ばしい香りが部屋いっぱいに溢れだす。やがて、パンがふっくらと焼き上がると、その旨を教えるブザーが鳴り響く。その時刻が正確に朝七時。知能を備えた機械は数々あれど、ホームベーカリーほどそれを私たちに実感させてくれる道具は、そうざらにはない。それにしても、なんと絶妙なマイコンの応用技術だろう。数々の知能つきの道具を見るたびに、日本的な〝技術の粋〟を見る思いがする。
ところで、ある日、私たちは、さまざまな道具に装着された知能の正体を取り出してみることにした。何ごとも映像化しなければ気が済まないテレビ屋の癖である。写真Aは、電気掃除機の把手に組み込まれたマイコン。右が、把手の制御装置が装着された部分で、左がマイコンチップのクローズアップである。写真Bは、電気洗濯機に組み込まれたマイコン。写真Cは、電気炊飯器に組み込まれたマイコン。いずれも、右が装着部分で、左がマイコンチップだけを拡大したものである。

A　電気掃除機の把手に組み込まれたマイコン

B　電気洗濯機に組み込まれたマイコン

C　電気炊飯器に組み込まれたマイコン

現代の高級カメラを分解してみよう。一眼レフのカメラは、ミラー部分がコブ状になっているのが特徴だが、そのコブのカバーを剥ぐと、その中にはフィルム状の配線シートが折りたたんで貼りつけてある。その状態を撮ったのが、写真Dである。プラスチックの配線シートを取り出すと、なんと五個ものLSIチップがついていた。二個がマイクロプロセッサーで、三個がメモリーであった。

マイコンの仕組みと働き

マイクロプロセッサーは初めて出てきた言葉で、本書の半分はこの誕生の物語に費やすことになる。

ここで電子式交換機DEX2の記述を思い出しながら、次ページの図2を見てほしい。

D　自動焦点カメラのマイコン装着部分

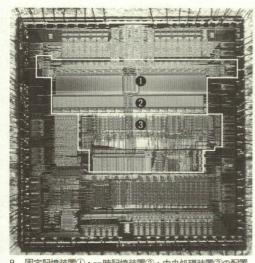
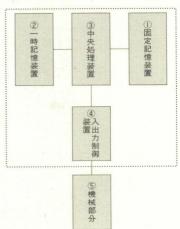
B　固定記憶装置①・一時記憶装置②・中央処理装置③の配置

A　16ビット・マイコン87C－196MD

図2　マイクロ・コンピューターの仕組み

結論から先に書こう。点線で囲んだ、①の固定記憶装置と、②の一時記憶装置と、③の中央処理装置、④の入出力制御装置、この四つの装置を小さなシリコンチップにつくり込んだものを「マイクロコンピューター」、俗に〃マイコン〃と呼ぶ。そして、③の中央処理装置だけを「セントラル・プロセッシング・ユニット(Central Processing Unit)」、略して「CPU」と言い、CPUだけをシリコンチップにつくり込んだものを、「マイクロプロセッサー」と呼ぶのである。

現在のマイコンチップの表面を観察してみることにしよう。

写真Aは、インテル社が一九九〇年から売り出した一六ビット・マイコン87C-196MDである。全体が樹脂でできており、その大きさは縦一七・九ミリ、横二三・九ミリである。中心部にシリコンチップが載っており、その周辺に華道で使う剣山(けんざん)のような針が立っている。これがシリコンチップの電極につながるピンで、装置側のプリント基板などに装着されたソケットに差し込まれる。

中心部に接着されたシリコンチップの大きさは、縦約七・〇ミリ、横約七・五ミリ。この中に右に述べたようなコンピューターを構成する各装置が配置されている。その様子を、シリコンチップの表面を拡大して観察することにしよう。

写真Bは、シリコンチップの表面をクローズアップして撮影したものである。周辺部に糸のような線が数多く生えているが、これは、チップの周囲に設置された電極とピンの間を結ぶ金属線である。シリコンチップの中には、都市計画の平面図を見るように、さまざまな模様の団地が隣接している。ある団地は蚊よけの網戸を見るごとく、ただの点が整然と並び、ある団地はかすりの着物のような図形が並んでいる。

模様の違う団地ごとに、それぞれ果たす役割が異なるのだが、コンピューターの最も基本的な機能である固定記憶装置、一時記憶装置、中央処理装置がどこに配置されているか示すと、①の区域が固定記憶装置で、通常はこれをRead Only Memory(読み出し専用メモリー)とか、あるいはその頭文字をとって「ROM」と呼んでいる。すでに何度も触れたように、固定記憶装置には装置全体を動かす手順が格納されている。

次に、②の区域は一時記憶装置で、Random Access Memory(読み出し・書き込み自在のメモリー)

とか、あるいは「RAM」と呼んでいる。③の区域が中央処理装置とか中央制御装置とか呼ばれる部分、「CPU」である。繰り返しになるが、CPUの機能だけをLSIチップに搭載したのがマイクロプロセッサーである。

ここで再び、図2を見ていただきたい。最終段の機械部分⑤は、純粋機械部分である。カメラを例にとれば、露出機構、ピント合わせ機構などの精密駆動部分である。洗濯機の場合は、水槽の水を攪拌するモーター。冷房エアコンや冷蔵庫の場合は、空気を冷やす冷却機。炊飯器の場合は、水を沸騰させるヒーター。ホームベーカリーの場合は、粉を練るモーターと練られた生地を焼き上げるヒーターである。これらに供給する電気をコントロールすることで、装置を意図通りに働かすのだが、目的に沿った制御命令が「0と1」の信号でマイコンから送られてくるわけである。

機械部分には、ユーザーが希望の機能を選択するオプションボタンと動作の状態を感知するためのセンサーが設置されていて、そこで捕捉した情報を中央制御装置に送り返して、設定した目標との差を割り出し、目標に近づけるように制御するのだが、そのセンサー情報は、④の入出力装置を経由して③の処理装置に送り返される。

■電気炊飯器の格納プログラム

以上のような説明は、マイコンの働きについて聞き歩いた専門家の話を、私の理解できる範囲でまとめたものである。しかし、話を聞いているときはわかったような気がするのに、いざ他人(ひと)に説明しようとすると、まことにつかみどころがない。プログラムだ、命令だ、信号だと、なじみのない言葉

図3　電気炊飯器とマイコンの関係

ばかりが交錯して頭の中が混乱する。

そこで、もっと具体的な例で解説してもらうことにした。電気炊飯器に組み込まれたマイコンは、どのような働きをして飯を炊くのだろうか。これから記述する内容は、ある家電メーカーとＬＳＩメーカーの両方から聞いてきた話を、私が理解できた範囲でまとめてある。

電気炊飯器とマイコンの関係を書いたのが、図３である。点線で囲んであるのがマイクロコンピューター、マイコンである。点線の中には、右から、④の入出力制御装置、①の固定記憶装置（ＲＯＭ）、中央に③の中央処理装置（ＣＰＵ）、左に②の一時記憶装置（ＲＡＭ）、が配置されている。これらにつながっているのが、オプションボタンと電気釜のヒーターと温度センサーや液晶表示などである。

①の固定記憶装置ＲＯＭには、プログラムが格納されている。この場合のプログラムは、釜にスイッチを入れてからご飯が炊きあがるまで

の手順を、段階を踏んで命令に組み立ててある。何度も記述したが、それは二進数の「0と1」の連鎖で組み立てられている。炊飯器の場合、プログラムには大別して二種類ある。一つは、炊飯器を働かせるときは常に踏まなければならない手順を示した共通プログラム。もう一つが、ユーザーが自分の好みに合わせて選択できるオプションである。すなわち、「硬炊き」「軟らか炊き」「おかゆ炊き」などのプログラムである。

さて、共通プログラムの典型的な例は、予約時刻に電気釜が働きはじめるまでの手順。これは、ユーザーがいかなるオプションを選択しようとも変わらない共通手順である。

プログラム〔1〕まず、現在の時刻を読み取る。
プログラム〔2〕RAMに一時記憶された予約時刻を読み取る。
プログラム〔3〕予約時刻と現在時刻の差を計算する。
プログラム〔4〕差がゼロになったら、釜のヒーターの電源スイッチをONにする。
プログラム〔5〕RAMに一時記憶された硬炊き、軟らか炊きなどのオプションを読み取る。

ここまでは、ユーザーの選択に関係なく、炊飯器共通の動作手順である。しかし、これ以後はユーザーがどのオプションボタンを押したかによって、炊飯器の動作が変わってくる。「硬炊き」ならば「初めチョロチョロ、中パッパ」と加熱するが、「おかゆ炊き」にするなら「初めパッパ、後はトロトロ長時間」と加熱する。「硬炊き」プログラムはこうである。

プログラム〔6〕まず、釜の中の水を沸騰させる。
プログラム〔7〕この状態を一〇分間だけ維持する。
プログラム〔8〕釜の加熱ヒーターのワット数を切り替えて二倍にする。

プログラム〔9〕この状態を一五分間だけ維持する。
「おかゆ炊き」のプログラムは、こうである。
プログラム〔10〕まず、釜の中の水を沸騰させる。
プログラム〔11〕この状態を一〇分間だけ維持する。
プログラム〔12〕釜の加熱ヒーターを、低いワット数に切り替える。
プログラム〔13〕この状態を二五分間だけ維持する。
この段階までくると、再び共通手順に戻ってもよい。
プログラム〔14〕ヒーターのスイッチを保温に切り替える。
プログラム〔15〕この状態を一〇分間だけ維持する。
プログラム〔16〕炊きあがりのブザーを鳴らす。
こうしたプログラムはすべて、二進数のコードで表現され、いくつかの命令が組み合わされてできている。
②の一時記憶装置（RAM）は、ユーザーが炊飯器を使うたびに入力したデータを格納するメモリーである。たとえば、「ユーザーは入力時から何時間後にどんなご飯がほしいのか」といった情報である。これは、昨日と今日と明日ではまったく違うかもしれないから、目的を果たし終えれば即座に、メモリーの内容が消去され、白紙の状態に戻る。「五時間後」に「硬炊き」のご飯がほしいのであれば、そのようにセットする。これらの入出力動作も、プログラムで制御する。プログラムはすべて二進数でコード化されたデータとして目的完了まで保持され、仕事を終えてしまえばコードは抹消され、メモリーは白紙の状態に戻る。

最後に、③の中央処理装置（CPU）の働きについて触れよう。③のCPUを子細に観察すると、さまざまな機能の団地が図中のように配置されている。まず、左上隅にあるのがクロック・パルスを発生させる「時間信号発生回路」。ここだけは、炊飯器に電気が来ている限り常に働いている。ここから送り出されるパルスを基準にして、すべてが動いていく。

信号発生回路の右隣にある「アドレス指定回路」は、固定記憶装置（ROM）のどの格納場所からプログラムの中の命令をもってくるかを指定する役目を担っている。また一時記憶装置やRAMや入出力制御装置とCPUとの間で、データのやりとり時にも使用される。右端に縦一列に四個並んでいるのが、「演算回路」である。一つの演算回路で、二進法の一桁計算ができる。

本書の下巻で、電卓の原理を述べるときに触れたように、「0＋0＝0、0＋1＝01、1＋0＝01、1＋1＝10」が表現できる回路である。これを四個使うと一六通りの表現が可能になり、その中の一〇通りのデータ番号を使えば十進数のデータを演算することができる、というわけである。また、計算機としても働かせることができ、指定時刻と現在時刻の差を計算させたり、指定温度と現在温度の差を計算させたりすることができる。中央部にある一時記憶レジスターは、CPU内だけで使うきわめて小規模なメモリーである。命令解読回路は、ROMから読み出してきた命令の意味を解読し、新しい指令に変換する回路である。

CPUは完全支配の指揮センター

これらが、どうやって有機的に機能して、処理装置としての役割を果たしているのか。私には一つ

一つの働きが、いまひとつはっきりとは理解できていない。ただ、専門家のお話を聞いて理解できたことは、CPUというのは、大都市におけるすべての交通信号を完全支配する信号指揮センターのようなものだ、ということである。車の流れをある目的地に誘導したければ、目的地までの道路にあるすべての交通信号を青にして、他をすべて赤にしてしまえば、車の流れは自然とそのように動いていくに違いない。道路では車の集団が移動していくが、電子装置では二進数で組み立てられた命令がパルス信号となって、回路の中を流れていく。

かりに車のスピードが、電気の速さだと仮定する。交通指揮センターで一秒間に何十万回も交通信号を切り替えることができ、切り替えのタイミングに合わせていろいろな種類の車が次々と発進していけるならば、目的地別の車を自由自在に誘導することができるはずである。実際には車は電気の速さでもなく、交通信号を毎秒何十万回も切り替えることはできないから不可能だが、これが電子の世界では可能である。

命令で指定されたデータを瞬時瞬時で必要な所に運び、命令によって指定された処理(加算とか減算)を一次記憶レジスターと演算回路を使って実行するには、交通指揮センターに相当する機能があればよい。中央処理装置CPUこそが、その役割を担っているのである。

ここでは、ある瞬間の移動を描いてみよう。ユーザーが炊飯器のメニューボタンを押して予定時刻とオプションを入力し、スタートボタンを押す。すると、図4のように、CPUがROMとの間の回路を開き、ROMに格納されているプログラム〔1〕〔2〕〔3〕の命令の流れを順番に読み出して、CPUにもってくる。CPUは情報を解読し、RAMに一時的に記憶された作動開始時刻と現在時刻の差を計算する。その差がゼロになると、図5のようにCPUが再びROMとの間の回路を開き、そ

図4　CPUとROMの間の回路が開く
4ビット・マイコン

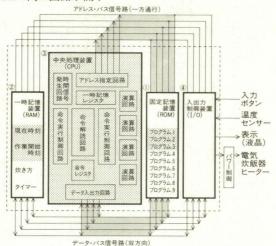



図5　CPUとROMの間の回路が開く
4ビット・マイコン

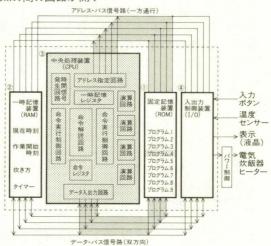



図6　CPUと入出力装置(I/O)の間の回路が開く

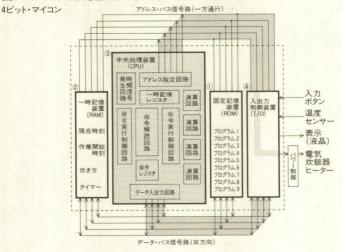



図7　CPUとROM間の回路が開き、プログラム5をCPUに取り込む

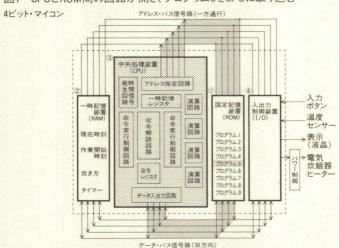



図8　CPUとRAMの間の回路が開き、オプション情報を取り込む
4ビット・マイコン

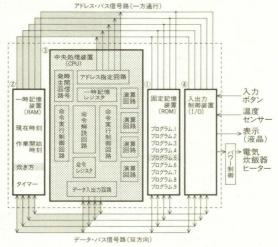



図9　CPUとROMの間の回路が開き、プログラム6、7、8、9をCPUに取り込む
4ビット・マイコン

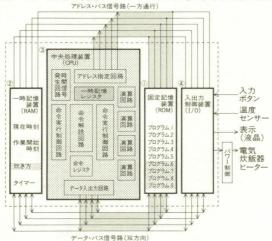
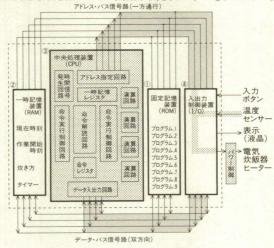



図10　CPUと入出力制御装置の間の回路が開き、ヒーターをプログラム通り駆動する4ビット・マイコン

こに格納されているプログラム〔4〕の命令群をCPUに取り込んでくる。CPUが情報を解読し、入出力装置との間の回路を開き、図6のように、入出力制御装置を経由して釜のヒータースイッチをONにする。

もう一つ、別の瞬間を描いてみよう。たとえば図7のように、ROMから「RAMに一次記憶されているオプション情報を読み取るべし」というプログラム〔5〕の命令群を読み出し、CPUにもってくる。CPUでは命令が解読され、CPUとRAMの間の回路を開く。これが、図8である。

すると、RAMの中に保持されているユーザーのオプション情報、たとえば「硬炊き」の情報が、二進数コードでCPUに入ってくる。これが解読されると、今度は図9のように、CPUとROMの間の回路が開き、ROMに格納されている「硬炊き」のプログラム〔6〕〔7〕〔8〕〔9〕の命令群をCPUに取り込む。

それを解読し実行すると、今度は、図10のように、CPUと入出力制御装置の間の回路が開き、ヒーターを制御するのに必要なデータがCPUからそこに流れていく。そのデータに基づいてパワー制御装置が電気釜のヒーターをプログラム通りにコントロールしていくというわけである。

ここでもう一度、図3を見ていただきたい。

点線で囲んだ中がマイクロコンピューター、マイコン。そして、マイコンの中の③中央処理装置だけをシリコンチップにつくり込んだものがマイクロプロセッサー。今や大型コンピューターの市場さえ脅かしているマイコン時代は、このマイクロプロセッサーの発明から始まったのである。そしてワンチップ・コンピューターとさえ言われるマイコンは、メインフレームの大型コンピューターの流れとはまったく無縁なところで生まれ、発達してきた。マイクロプロセッサーの誕生は、日本の苛烈な電卓戦争が産み出した副産物とも言えるのである。

第章

半導体メーカーの興亡

トップエンジニアのスカウト合戦

一九五七年の末、ロバート・ノイスら八人の若きエンジニアがシリコンバレーにフェアチャイルド社を設立した。この企業は次々と新しい技術を開発し、世界をリードした。シリコンのメサトランジスタを他社に先駆けて商品化し、続いて汚染に弱いというメサ型の弱点を克服し、プレーナトランジスタを発明し、世界市場を席巻した。ほとんど息つく間もなく、プレーナ技術を応用して集積回路の実用化に成功した。

集積度競争が激しくなると、ICに搭載するトランジスタが、バイポーラ型からMOS型に移行していった。構造が単純で、小さくできるので、高密度で集積するのには適していたからである。しかし、MOS型のICは原因不明の劣化に悩まされ、量産が危ぶまれた。その不安定原因を究明し、工業化のめどをつけたのは、フェアチャイルド社であった。

このように一九六〇年代の半導体技術をリードしたのは、まぎれもなくフェアチャイルド社であった。会社は飛躍に次ぐ飛躍を遂げ、アメリカを代表する半導体会社にのし上がった。だが、絶頂期は長くは続かなかった。六〇年代後半になると、肥大化したフェアチャイルド社は、衰退の道をたどりはじめる。研究者の士気は低下し、工場の規律は乱れ、製品の質が劣化した。このときすでに、ショックレー博士のもとを共に去って会社設立に参加した〝裏切りの八人〟も、たった二人を除いてはフェアチャイルド社を去っていた。

ここで、六〇年代のフェアチャイルド社の人間の動きを整理しておこう。業績が飛躍的に伸びていた一九六〇年の初め、若者たちは、投資してくれた親会社から株を買い取って独立しようと奔走した。

しかし、金の卵を産みはじめた鶏を、親会社が手放すはずがなかった。結局彼らは、ジョン・カーターから株式を買い取ることに失敗し、親会社からの独立計画は挫折した。失望した設立メンバーの多くが、二五万ドルに膨れ上がっていた持ち分の株を手放してフェアチャイルド社を去った。

最初に、プレーナ法の発明者ジーン・ハーニーを筆頭にシェルドン・ロバーツ、ユージン・クライナーの三人が退職し、アメルコ社を新設した。その後、アメルコ社はテレダイン・セミコンダクター社に買収され、この三人は独自の道を歩んだ。シェルドン・ロバーツはベンチャーキャピタリストの道を歩み、ジーン・ハーニーは一ダースもの会社を設立した。残るジュリアス・ブランク、ヴィクター・グリニッチ、ジェイ・ラストも続いて退社し、コーニング・グラス社の援助でシグネティックス社を新設した。残ったのは、ロバート・ノイスとゴードン・ムーアの二人だけであった。

アンディー・グローブ(左), ロバート・ノイス(中央), ゴードン・ムーア(右)

やがて、優れたエンジニアが集団で他社に引き抜かれる事件が頻発した。リニアICの天才ボブ・ワイドラーと彼のチームが集団でスカウトされたかと思うと、製造部門の副社長チャーリー・スポークまでナショナル・セミコンダクター社に引き抜かれた。しかも、四人の重役が彼に従い、彼らが製造部門の優れた人材を根こそぎ連れ去ったのである。

技術者たちは、金曜日の夜になると決まって、ワゴン・ホイールの酒場に集まって「今夜はだれがナショナルにつかまるか」と囁き(ささや)あったという。

こうして、ナショナル・セミコンダクター社の人材引き抜きは猛

烈をきわめた。フェアチャイルド社の製造部門は甚大な打撃を受け、その〝穴〟は、その後もけっして埋まることがなかった。

企業間のあまりに激しい引き抜き合戦に危機感を抱いた電気電子技術者協会（IEEE）は、一九六六年の会議で人材の引き抜きを禁止する決定をするが、人材引き抜きの激しさはとどまるところを知らなかった。

小島義雄氏

こうしたフェアチャイルド社末期の惨憺たる状況を、身をもって体験した日本人がいた。電卓市場にしばしば野心的な製品を送り出して電卓戦争に拍車をかけた、ビジコン社の小島義雄さんであった。大正一三年（一九二四年）旧満州（中国東北部）の大連で生まれ、昭和二五年（一九五〇年）に京都大学経済学部を卒業した。彼の父親が経営していた会社の一つ日本計算器（のちのビジコン社）に入社。若くして社長に就任していた。

小島　フェアチャイルド社の末期というのは、それは荒廃していましたね。私ども、LSIをつくる前にMSI、つまりミドル・スケールのインテグレーション（中規模集積回路）をフェアチャイルド社に開発してもらっていました。「141」という、私どもの計算機用なんです。ところが、当時のフェアチャイルド社は、納期は遅れる、イールド（歩留まり）は悪い。もうさんざんな、ていたらくなんですね。

――あのフェアチャイルド社がですか。

小島　これは間違いございません、私たちは直接取引きしたカストマー（顧客）でしたから。私どもがフェアチャイルド社にまいりましたら、若いエンジニアが小さなフォルクスワーゲン

で空港まで迎えに来てくれたんです。私が「ドクター・ノイスはどうしてる?」と聞きましたら、迎えのエンジニアは「ドクター・ノイスは最近、酒ばっかり飲んで酔いどれになっちゃってるんだ」と言うんですね。

想像のできぬ話であった。本書の中巻でフェアチャイルドマンたちが生き生きと語ってくれた会社設立当時の話とは程遠い様相に、耳を疑った。会社の士気が緩み、歩留まりは悪く、製品は欠陥だらけだったというのである。

——その話、本当ですか。創立当初のフェアチャイルド社は実に活気のある、生き生きした創造的な会社だったと聞いていたんですが。ずいぶん話が違いますね。

小島　私は嘘は申しません。それはもう明確に言えます。時期は私どもが「141」という電卓を開発した時期ですから一九六八年、つまり昭和四三年。そりゃあメチャクチャでした。私たちは被害者なんですから。歩留まりが低いから、生産数量が確保できない。それでセカンド・ソースとして、東海岸の会社に下請けに出す。またそれでゴタゴタする……。歩留まりが劣悪だから、コストが高い。もう散々な会社に成り下がっていました。ですから、ドクター・ノイスだって酒浸りにもなりたくなったでしょう。

物理学博士の経営手腕に白羽の矢

一九六八年、ロバート・ノイスは、フェアチャイルド・グループの三頭支配体制の一人に抜擢された。航空カメラと機器会社と撮影用航空機会社の二社に加え、ノイスたちが設立した半導体製造会社

の三社でグループをつくっていたが、ロバート・ノイスは、そうしたグループ全体の経営陣に抜擢されたのである。

しかし、ロバート・ノイスはまったくそれを望んでいなかった。カリフォルニアからニューヨークに転ずるのもいやなら、航空機やカメラなど半導体に関係のない分野にも関心や興味はなかった。ノイスは、フェアチャイルド・セミコンダクター社を退社する決心をするのである。

ロバート・ノイスのあとを襲って社長に就任したのは、モトローラ社の社長レスター・ホーガンであった。第二次世界大戦後にリー・ハイ大学の大学院で物理学の博士号を取得したのち、ベル研究所の物理研究部門に入所し、そこでマイクロウエーブの分野で世界的な業績を上げ、有名になった。その後一九五三年に、ハーバード大学から招聘されて教授に就任したが、五年後の一九五八年に、アリゾナ州フェニックス市にあるモトローラ社に転じた。経営難に陥っていたモトローラ社の半導体部門を再建してほしいと、親友の副社長に頼まれたのが動機であった。

モトローラ社の半導体部門を建て直すホーガン博士の方法は、非常に、ドラスティックであった。ベル研究所から六〇人もの優れた人材を根こそぎスカウトして、モトローラ社に連れ去ったのである。モトローラ社は急速に立ち直り、再建に着手してから一四か月で、財政は黒字に転じ、その後一〇年にわたって、年間成長率が四〇パーセントを維持し続けたのである。

フェアチャイルド・カメラ・アンド・インスツルメンツ社を中心とするグループは、経営手腕に実績のあるレスター・ホーガンに白羽の矢を立てた。その経緯を、レスター・ホーガンさんは、次のように回想する。

ホーガン　一九六八年の六月か七月のことだったと思うんですが、当時フェアチャイルド社の理

事だったウォルター・バーク氏から電話をもらいました。実は、私は彼を知りませんで、会ったこともなかったんです。彼はアリゾナ州のフェニックス市にある私の家に電話で「訪ねたいのだが、どうだろうか」と聞いてきました。それで、よく聞いてみると、彼はフェアチャイルド・セミコンダクター社のオーナーであるシャーマン・フェアチャイルド氏から、すべての権限を委ねられていることを知りました。

――それでバーク氏から「ぜひ会いたい」と？

ホーガン　そうです。それで私は「どうぞ」と言いました。しかし私はそれでもまだ、どんな目的で私に会いにくるのか読めませんでした。

当時モトローラ社は、プレーナ法の特許に関してフェアチャイルド社と係争中であった。フェアチャイルド社は、特許申請を急いだあまり法的には万全ではなかった。だから、法廷で細部を争えばモトローラ社にも勝ち目がある、とホーガンは踏んでいた。そこで、フェアチャイルド社の代理人は和解を提案しにくるだろう、と考えたのである。

レスター・ホーガン氏

ホーガン　ウォルター・バーク氏を応接間に通して、彼が椅子に着席するなり、真っ先に言ったことは、私にフェアチャイルドの新しい社長になってくれということでした。最初はあっけにとられましたが、すぐに私は、そんなことは理解できないと答えました。「どうしてボブ・ノイスではないのか。ボブ・ノイスという非常に有能な人間がいるではないか」と聞いたのです。

――答えは？

ホーガン　いくら聞いても、私が納得できる理由はありませんでした。何らかの理由があるようでしたが、私には理解できなかったのです。

――どうなさったんですか？

ホーガン　私は、何よりもボブ・ノイスと直接話をしよう、と決心しました。というのは、私は個人的に彼を、人間としても科学者としても尊敬していましたし、この話の裏にある話を本人の口から直接聞きたいと思ったからです。

――それで？

ホーガン　ボブは公にしたくなかったようですが、すでにフェアチャイルドを去り、インテル社を興す決心をしていたようです。ですから、フェアチャイルド社の社長になることには興味がなかったんですね。彼はインテル社を創設するグループを、ひそかにフェアチャイルドの中で構成していました。ボブは言いました。「君の来る日を待って、君が来る前日に私は去るつもりだ」と。「君が引き受けてくれたならば、ここは君の舞台なんだよ」とも。

新しい事業への意欲

一九六八年六月に、ロバート・ノイスは、フェアチャイルド・セミコンダクター社を辞職した。研究開発部長だったゴードン・ムーアと、プロセス開発の専門家だったアンディー・グローブが、ノイスと行動を共にして、退社した。

アンディー・グローブは、MOS・ICの不安定原因がナトリウムなどアルカリ金属であることを突きとめたグループのリーダーであった。〝フェアチャイルドマン〟と呼ばれる設立メンバーには入っていなかったが、ゴードン・ムーアとともに、フェアチャイルド社ではロバート・ノイスに最も信頼されたエンジニアの一人であった。現在は、インテル社の社長である。

ゴードン・ムーア（六三歳）は、一九二八年サンフランシスコ生まれ。カリフォルニア工科大学で物理と化学を学び、両方の博士号を取得したあと、東海岸のジョンズ・ホプキンズ大学応用物理研究所に就職した。やがてウィリアム・ショックレー博士から勧誘を受けて西海岸パロアルトのショックレー半導体研究所に転ずるが、彼もまた、経営者としてのショックレー博士に失望して、〝裏切りの八人〟に加わった。

次々とスピンアウトしていった創立メンバーのなかで、ノイスとともに最後まで残ったのが、ゴードン・ムーアであった。フェアチャイルド社を去る直前には、ノイスの右腕として研究開発部門の責任者であった。現在は、インテル社の会長である。

ロバート・ノイスは一九八八年七月（昭和六三年）年に、請われて国策会社セマテック社のトップに就任するが、そのあとのインテル社を引き継いだのがアンディー・グローブとゴードン・ムーアであった。ロバート・ノイスは一九九〇年（平成二年）六月に心臓発作で急逝したが、そのときの葬儀委員長は、ゴードン・ムーアであった。

そうした、側近中の側近だったゴードン・ムーアさんは、ノイス退社の真相について次のように語るのである。

ムーア　フェアチャイルド・セミコンダクター社の親会社であるフェアチャイルド・カメラ・ア

ゴードン・ムーア氏

ロバート・ノイス氏

ンド・インスツルメンツ社が、六か月の間に二人のCEO（経営責任者）をクビにしたんです。まず彼らは、会社の設立当時からいた会長をクビにして、社長を新しい会長にしました。六か月後にはその新しい会長もクビにして、三人の取締役で構成されている委員会で会社を運営しようとしたんですが、彼らはビジネスを何も知りませんでした。現実のビジネスは、私たちが取り仕切っていたのです。ですから彼らは、会社の外から新しいチーフ・エグゼクティブを雇おうとしたのです。

——実績あるロバート・ノイスさんや、あなたたちはどう扱われたのですか。

ムーア　ボブ・ノイスは理屈のうえでは内部での候補者だったんですけれども、どういうわけだか、彼らはボブ・ノイスをまったく無視しました。それでボブ・ノイスは、退職を決意したのです。

フェアチャイルド社の基礎を築き、発展させ、莫大な富を生み出したのは、明らかにロバート・ノイスであった。フェアチャイルド社のだれもが彼の才能と人格に憧れ、彼を中心に結束して、会社は飛躍を遂げてきた。

しかし、資金を投じた側はロバート・ノイスのカリスマ性を嫌った。さまざまな手段でロバート・

ノイスの影響力を削ぐように努力したのである。一見抜擢に見せかけて、彼を東海岸に移そうとしたのも、そうした配慮の一つであったに違いない。それを見抜いたからこそロバート・ノイスは退社を決意するのだが、彼は当時の気持ちを次のように語っている。

ノイス　フェアチャイルドが成功したのは、単に運がよくて時流に乗っただけじゃないんだ。成功の陰にはわれわれの知識や洞察力や経営能力がものを言ったのだ、ということを実証して見せるには、私たちがフェアチャイルド社から独立して再び自分たちの力で成功して見せるのがいちばんだ、と考えました。フェアチャイルド社の管理者たちのやり方ではなく、自分たちのやり方で事を始め、成功してみせようと思ったのです。

自分たちが去ったあと、やれるものならやってごらん、という本音が垣間見えるようである。半導体ビジネスを成功に導いたのは自分たちの力量であり、それを決して認めようとしないフェアチャイルド・グループのオーナーにロバート・ノイスは激しいいらだちを感じていたという。フェアチャイルド社が成功したのは単なるまぐれ当たりでなかったことを証明するためにも、自分たちの力だけで新しい事業に成功してみせたいと彼は考えた。

ロバート・ノイスは、フェアチャイルド社を創立するときに奔走してくれたベンチャー資本家のアーサー・ロックに、再び相談した。ノイスの計画をじっくり聞いたアーサー・ロックは、何人かの友人とコンタクトをとり、インテル社をスタートさせる資金を集めてくれた。彼には、多くの個人的投資家がついていた。すでにさまざまな投資で大きな成功を収めていたので、投資家たちには信頼が厚かったのである。

■社長の連続交替から破滅の淵へ

ロバート・ノイスの去ったあと、フェアチャイルド社の代表取締役に就任したのが、レスター・ホーガンであった。彼は、就任すると、さっそく財務状況の把握に努める一方、東南アジアを除く全工場を視察した。

ホーガン　フェアチャイルド社が技術的にはすばらしいものをもっている会社であることは、もちろん知っていました。彼らが設計し、製造しようとしていたチップは、常に最先端を行くものでしたし、モトローラ社が当時もっていた技術よりもずっと進んでいました。

――世界の先端を行く技術だったんですね。

ホーガン　ところが、工場を見たときには、実に、吐きそうでした。それはひどい状態で、一九六三年当時から一歩も進んでいないように思われました。ご存じのように、このビジネスにおいては製造技術は、二年とか三年のサイクルでまったく変わってしまいます。モトローラ社では、工場には常に近代的な製造設備を導入していましたし、古い機器は刷新するようにしていました。モトローラ社の工場は、常に時代の最先端を行くアップ・トゥ・デイト（最新鋭の）な新品を取り揃えていました。それが、フェアチャイルド社の工場設備ときたら、古色蒼然とした、陳腐化したものばかりでショックを受けました。

――世界のフェアチャイルド社も、工場設備は更新しなかったんですね。

ホーガン　ですから、フェアチャイルド社における製品の製造コストは、モトローラ社のそれの二倍に達している、ということに気づきました。そのままでは、破綻に瀕するのは目に見

えていました。フェアチャイルド社が潰れてしまう前に、どうやって建て直せばいいのか。このとき私は初めて、事態の深刻さを悟ったのです。

——荒廃する工場の真実については、ロバート・ノイスは何とおっしゃっていたんですか。

ホーガン　ロバート・ノイス氏は、製造部門に関しては忠告をしてくれませんでした。実は、彼がそのことについて知っていたのかさえ疑問なのです。あるいは、真相を知らされていなかったのではないかとも思うのです。私は、フェアチャイルドの社長に就任するや真っ先に財務部門に行って、同じような情報を求めました。もちろん私も、香港や韓国にある工場を除いて、すべての工場を視察していましたし、フェアチャイルド社が抱えていた悲しい状況についても、目の当たりにしていました。ですから、製造コストを聞いても驚かないだけの心の準備はできていたのですが、財務部門から改めて製造コストを聞かされたときは、あまりのひどさに仰天したものです。

——それほど劣悪だったんですか。

ホーガン　おそらくこれは、個人の責任なんかではなかっただろうと思います。それは、会社が生き残るのに最低必要な設備投資すら怠ったこと。工場の近代化をはかるのに必要な資本を親会社が供給しなかったということに、真の原因があるのではないかと思います。

ひどい状況に衝撃を受けたホーガン社長は、モトローラ社から一団の管理職軍団を引き連れてきた。かつてモトローラ社の半導体部門が破綻寸前だったとき、その再建を頼まれたホーガン博士がベル研究所から六〇人の人材を引き抜いて連れ去ったが、今回もそれと同じやり方を踏襲した。〝ホーガンの戦士たち〟と呼ばれるモトローラ系の中間管理職がホーガン博士の手足となって、フェアチャイルド

社の再建に従事したのである。
しかし、会社の中枢がすべて〝ホーガン戦士〟で占められると、フェアチャイルド社生え抜きの従業員は士気を失い、優秀な人材が次々と会社を辞めていった。人材は、チャリー・スポークのナショナル・セミコンダクター社か、ジェリー・サンダースのアドバンスド・マイクロ・デバイス社か、ロバート・ノイスのインテル社に流れた。当然のことながらそうした人間とともに、重要な技術情報も流出した。経営再建では実績のあるホーガン博士も、フェアチャイルド社の衰退を停めることはできなかったのである。

ウィルフレッド・コリガン社長

一九七四年、レスター・ホーガンは、フェアチャイルド・グループ総本社の権力闘争に巻き込まれて社長の椅子を退いた。
あとには、〝ホーガン戦士〟の一人だったウィルフレッド・コリガンが就任した。社長就任当時、三六歳。三つ揃いのスーツが似合う、若き経営者であった。彼は、冷酷無比に人員整理を断行した。コリガン社長は、社長室にマイクを設置させ、解雇者の名前をアルファベット順に読み上げた。その声は通信回線で各工場に送られ、拡声器が大音響で解雇者の名前を告げた。何百人もの従業員が、凍りついたように身じろぎもせず、自分の名前が呼ばれないようにと神に祈ったという。これが、コリガン式首切りであった。
何事につけても非情さが目立つコリガン社長だったが、彼の経営もまた成功しなかった。大衆商品やコンピューターの分野に無分別に参入したり、肝心の先行開発を放棄したり、本来フェアチャイル

ド社が生み出したオリジナル技術であるＭＯＳ型素子の技術を枯渇させたりした。彼はフェアチャイルド社をさらに一段と破滅の淵に追いつめたのである。一九七〇年代の終わりには、最も重要な収入源はロバート・ノイスたちが発明した集積回路の特許収入であった。

不思議なことには、こうした失敗にもかかわらず、一九七七年、コリガン社長は、親会社フェアチャイルド・カメラ・アンド・インスツルメンツの会長に抜擢された。つまるところ、フェアチャイルド・セミコンダクター社の設立に手を貸したのも、そして結局、潰してしまったのも、フェアチャイルド・グループのオーナーであった。利潤を上げることばかりに目を奪われ、人材を見抜く力さえなかったようである。

■栄光の半導体企業の哀れな終幕

一九七九年、ついに、フェアチャイルド社は販売実績では業界第六位に転落した。にもかかわらず、この半身不随の会社を高値で買いとったところがあった。石油探査会社のシュランベルジャー社である。この名前を聞いたとき私は、かつて制作したＮＨＫ特集「石油・知られざる技術帝国」を思い出した。石油産業も探査から掘削まで数百にのぼる先端技術産業に支えられているが、シュランベルジャー社は、そのなかでも際立って有名な会社であった。

これは多少余談気味になるが、石油掘削のなかで最も重要な技術の一つが、井戸の中の状態を地表から察知することである。これを間違うと大暴噴という事態になり、それまでの努力が、一瞬のうちに水泡に帰してしまう。

地下の原油はけっして、地底に池のように液体として横たわっているのではない。油のしみこんだ砂や岩石の状態で、層を成しているに過ぎない。地底の油層は液体状ではなく、まぎれもない岩石そのものなのである。それが液体として地上に噴き上がってくるのは、掘削パイプを通して地表の一気圧とつながった瞬間、それまで数百気圧という地底の圧力で閉じ込められていた原油が、圧力の低いほうに吸い出されてくるからである。

だから、地表の人間は、地底の状況を先に先にと予測していくことが絶対に必要である。それを誤ると、油層の油を静かに整然と取り出すことができない。地底から噴き上げてくる油をコントロールしながら取り出すには、直前で掘削をやめ、地上施設を準備しなければならない。それができないうちに油層と地表をつなげてしまうと、井戸は火山が大噴火を起こすように、制御不能の大暴噴を起こしてしまう。井戸が油層に近づくにつれ、掘削速度を落とし、少しずつ地底の変化を読みとりながら、薄皮一枚のところで掘削をやめ、地表の受け入れ準備をし、すべての準備が完了したところで、油層に井戸をつなげるのである。

石油技術者たちは、常に、地底から上がってくる泥水から目を離すことなく観察を続け、先の事態を予測する。しかし今、地表で手にできる岩石の屑は、実は何分も前の地底の状態を教えてくれるに過ぎない。そこで石油技術者たちは、しばしば掘削を中断し井戸から検層具を釣りさげて、地層のデータを採取するのである。

シュランベルジャー社は、世界一の検層技術をもつ会社であった。もちろん、掘削井戸が目的の油層に届くまでにはさまざまな地層を通り抜けなければならない。その地層の性質や状態に合わせて、掘削道具や技法を変えていく。そのたびに掘削を中断し、何百本ものパイプを引き上げ、井戸にさま

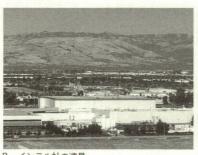
ざまな検層具を降ろして地層のデータを採取し、分析するのである。だから、石油掘削現場には必ず、シュランベルジャー社のエンジニアがさまざまな検層具を用意して常駐している。

ところで、半導体時代に入ると、検層具に多くの半導体素子が使われるようになった。多種多様な検層具の性能を決定的に左右したのが、半導体素子の性能と信頼性であった。しかも重要なことは、ICやLSIを半導体メーカーに設計製造を依頼すると、シュランベルジャー社が、長期にわたって蓄積してきた検層ノウハウが流出しかねない。それを恐れたシュランベルジャー社は、優秀な技術をもつ半導体製造会社を買収して、半導体素子を内製しようと企んだ。

そんなときに、フェアチャイルド社が売りに出た。同社が六〇年代の半導体技術をリードした超一流の大企業だと知っていたシュランベルジャー社は、莫大な金額を投じてそれを買ったのである。この取引きが表沙汰になったとき、シュランベルジャー社は、「豚肉で豚を買った」と酷評された。一方、株を法外な値段で売りつけた社長のコリガンは、数百万ドルの資産を懐にしたと言われている。

こうしてフェアチャイルド・セミコンダクター社の栄光は、哀れな没落のうちに幕を閉じた。なお、蛇足ながらウィルフレッド・コリガン氏は現在、全米半導体協会の副会長に就任しており、強硬な対日政策を主張する陣営のなかでも最右翼である。

フェアチャイルド通りの廃屋

サンフランシスコからインターステイツ・フリーウェイ一〇一号線に乗って南に下ると、高速道路はサンマテオ、パロアルト、マウンテンビュー、サニーベール、サンタクララなどの町をかすめてサ

A　サニーベールからパロアルト方面を望む

B　インテル社の遠景

ンノゼ市に至る。

サンマテオの町からサンノゼ市までの距離がおおよそ四五キロ。車窓の左手の遠方にディアブロ山脈、右手近くにサンタクルツ山系の連なりを見ながら車は広大な平地を走っていく。いくつかの町や市を含むこの広大な平地が、シリコンバレーである。

その地理的概況は、中巻の一六八ページに掲載した立体地図を参照していただきたい。この地図の④がパロアルトであり、⑤がマウンテンビュー、⑥がサニーベールの町である。写真Aは、⑥のサニーベールのフリーウェイ沿いにあるビルの屋上から④のパロアルト方向（つまりサンフランシスコ方向）を撮影したパノラマである。写真には写っていないが、右遠方にサンフランシスコ湾が見えている。ついでに触れれば、この写真の方向とは一八〇度反対側に現在のインテル社がある。世界的なマイクロプロセッサー生産会社。それが、写真Bである。

さて、写真のなかでフリーウェイが伸びている方向におよそ八キロ進むと、右側に広大な海軍基地が見えてくる。金網で囲まれた草原には長い滑走路が走り、対潜哨戒機P３Cが間断なく離着陸している。

目をこらして遠くを見ると、何十機ものP３Cが駐機している。

そうした基地のはずれに、お椀を伏せたような巨大な建物がある。これがNASAの風洞実験センターである。スペースシャトルは、ここに運ばれて実験されたという。
フリーウェイを挟んで海軍基地の向かい側にフェアチャイルド通りという市道があり、それに面して連なっているのがフェアチャイルド社の三つの工場であった。
創立当初の小さなオフィス兼工場（写真が中巻の二四三ページに掲載）は、ここから五キロ離れているが、フェアチャイルド通りは第二、第三、第四工場と増設に次ぐ増設を繰り返していた時代の中心地であった。
ここで再び中巻の二〇一ページに掲載してある地図を見ていただくと、相互の位置関係がはっきりする。そのついでに二二二ページの「シリコンバレーの半導体企業相関図」も見ていただけると、フェアチャイルド社と、次に詳述するインテル社の関係もはっきりする。願わくば中巻の第4章「シリコンバレーの一粒の種」には、ショックレー研究所からフェアチャイルド草創期が詳細に描かれているので再読していただきたい。
さて、私たちがフェアチャイルド社の興亡について触れるためには、発展過程の象徴でもある工場群を撮影したいと考えた。フェアチャイルド通りに面した三つの工場は、次ページの写真Aのような状態で廃屋になっていた。廃屋なら事は簡単だと考えた。それが甘かった。工場の敷地に一歩入った途端、どこでどう監視されていたのか、警備のパトロールがサイレンを鳴らして飛んできた。ただ外観を撮影するだけのことだったが、撮影が許可されたのは何度も交渉を重ねた末のことだった。のちに触れるが、フェアチャイルド社は、広範囲で壊滅的な地下水汚染を引き起こしてしまうのだが、そうした負の遺産まで背負いこんだシュランベルジャー社は、マスコミに対して必要以上に神経過敏に

A　廃屋となっているフェアチャイルド社。４番目の工場

D　創立翌年のインテル社従業員

B　インテル社の正面

C　車置き場となっていたプロセス工場

なっていたのである。
　ロバート・ノイスとゴードン・ムーアたちがフェアチャイルド社を退職して設立した新会社インテル社は、なんとフェアチャイルド通りから歩いて三分、指呼の距離にあった。それが、前ページの写真Bである。ノイスたちは、つい昨日まで在籍した会社の隣に新会社をつくったのである。中巻の二〇一ページの地図では、⑪がインテル社最初の本社である。その左上に酒場の⑫ワゴン・ホイールがある。先述したように引き抜き合戦に明け暮れた時代、金曜の夜には「今夜はだれが転ぶか」と囁きあった酒場がここである。その写真は、中巻二七五ページに掲載されている。
　最初のインテル本社は、建設会社の持ち物になっていた（写真B）。表の玄関は鍵がかかっている。裏に回ってみると、通用門の壁には「部外者は立入禁止」「火気厳禁」「カメラ持込禁止」の三枚の札が貼ってある。通用門の横には、トラックも入れるほどのドアがついている。これは、あとから設置したものらしい。そっと押してみると、重い音を立てて苦もなく開いた。そこがかつてはウエハー工程を処理した場所だったに違いない。天井からは水やガスの配管が、何本も臓物のようにぶら下がっている。部屋をしきる壁はすべて取り払われて、車置き場になっていた。素早くカメラのシャッターを押した。それが、写真Cである。
　再び屋外に出て、工場の横に回ってみた。水やガスを供給する大きなタンクが林立し、その中腹には「INTEL」という文字が消えかかっている。タンクの側に設置された屋外階段を昇ってみると、屋上には超純水、ガス、薬品などのパイプが複雑に交差していた。半導体工場というのは、まったく化学工場そのものなのだ。屋上に立ってみると、前方にはフェアチャイルド社の三工場が見え、脇を見ると地下水の汲上げポンプだけを残してサラ地になっていた。おそらくはつい最近まで工場が建っ

ていたと思われる。そのサラ地に何本もの太い鉄管が立っている。環境保護局が設置した地下水観測用の井戸だという。フェアチャイルド社をはじめとする半導体工場が、周辺地域の地下水を回復困難な状態まで有害物質で汚染してきたのだという。

このサラ地のはずれに、高い板塀で囲まれた汚水処理施設があった。のぞいてみると黄色い水がどんよりと淀んでおり、その中で船のスクリューのようなプロペラが止まっていた。排水を真水と一緒にして掻き回したに違いない。そうして薄めた排水を一体どう処理したのだろうか。

汚水処理施設の横に、これまた板塀で囲んだ場所が隣接していた。中をのぞくと、大きなガスタンクが立っている。その中央部に「ユニオンカーバイド」と書いてある。ロバート・ノイスたちは、化学合成の専門会社ユニオンカーバイド社から中古の工場を買って最初の事業に入ったのであった。

さて、ここに一冊の広報用小冊子がある。「A Revolution in Progress：進歩の中の革命」。一九八四年に創立一六年目を記念して、インテル社が出版したものである。そこにはインテル社の創立から一六年にわたる発展の軌跡を豊富な写真で描き出しているが、その冒頭に掲載されていたのが、六四ページの写真Dである。撮影がインテル社設立の翌年、一九六九年。従業員全員が玄関前に集合した写真である。その数が一〇六人。最前列の二人がロバート・ノイス（左）とゴードン・ムーアである。ゴードン・ムーアの真後ろ三列目に眼鏡をかけた若い人物が写っているが、彼がやがて登場するテッド・ホフ、マイクロプロセッサーの発明者である。どの顔も若々しく、いかにもフレッシュな感じのする陣容である。

ゴードン・ムーアが、当時彼らが目指した目標について語ってくれた。

ムーア　当時までに私たちがフェアチャイルド社で築き上げた技術は、かなり複雑な構造のデバ

イスをつくれるところまで向上していました。その技術を活かせる新商品で、しかも開発にかけた費用を、充分に回収できる量産商品を見つけるのが課題でした。それが半導体メモリーだったのです。私とボブ・ノイスは、これを商品化するための新会社を設立しようと考えたのです。

——なるほど。

ムーア　シリコンチップに記憶装置をつくり込んだものを半導体メモリーと言うのですが、当時はシリコンチップにデュアル・フリップ・フロップ回路を搭載することでした。それは確か一つ一ドルぐらいで製造できました。

——半導体メモリーを、何に使おうというのですか。

ムーア　コンピューター用のメモリーです。当時、コンピューター用のメモリーはフェライト磁気コアを使ったコアメモリーでしたが、これが確か一個一セントぐらいでした。ですから、もし私たちが半導体メモリーのコストを一〇〇分の一ぐらいに圧縮することができれば、コアメモリーと充分競争していけると考えたんです。

コアメモリーについては、本書でもこれまでにしばしば触れてきた。いちばん近い例ではこの巻の初めのほうで電子交換機ＤＥＸ２について詳述したが、そこで使われた一時記憶装置がコアメモリーであった。第１章の二六ページを見ていただければ、コアメモリーの写真も載せてある。

一九五四年から開発に着手して六三年に完成した半自動のアメリカの防空システム（ＳＡＧＥ）は、全米に配置されたいくつかの防空センターを結ぶ巨大なコンピューター・ネットワークであったが、ここに使われた記憶装置もコアメモリーであった。中巻の四四ページに掲載した写真が、ＳＡＧＥの

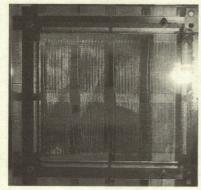
記憶装置であり、この中に膨大な数のコアメモリーが格納されていた。

また電卓戦争では一九六六年（昭和四一年）日本計算器（後のビジコン社）が、イタリアのイメ社が開発した超小型コアメモリーを使って高性能低価格な電卓をつくり、市場に殴り込みをかけた。性能・価格ともに当時の常識を破っていたので、事務機工業界と通産省が価格破壊だとして新型電卓の発売中止を申し入れたほどである。

下巻一七七ページには、電卓に使われた超小型磁気コアメモリーの写真を掲載してあるので参照していただきたい。これから書くことになるマイクロプロセッサー誕生は、このビジコン社の仕事と深く結びついていた。

では、コアメモリーとは一体いかなるものだったのか。

▨ コアメモリーの二進法情報

ニューヨークのセントラル・パークから歩いて五分、マジソン街と西五七番通りが交差する西側の角にＩＢＭビルがある。マジソン通りに面した二階の部屋が小さな展示室になっており、実物とパネルで「ＩＢＭ社とコンピューター」の発達史を綴っている。ボストンのコンピューター博物館ほど大きくはないが、ＩＢＭがつくった歴史的なコンピューターを展示し、その技術を巧みな表現で解説している。何事によらず同じことだが、難しい事柄を知りたいと思うときは、博物館に行くことが大変役に立つ。解説パネルがやさしい言葉とわかりやすい言い回しで、事柄の核心を簡潔に教えてくれるからである。おまけに実物まで見ることができれば申し分ない。

B　棚の中の一枚はエナメル線で織った網

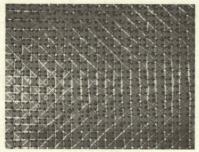
A　SAGE(半自動防空システム)の記憶装置

C　エナメル線の交点にまたがるコアリング

図12　フェライトコアの拡大

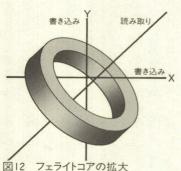
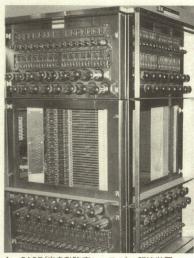
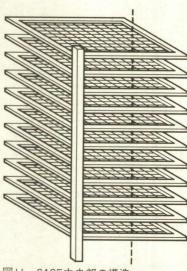



図11　SAGE中央部の構造

図13　49ビットのコアの配列

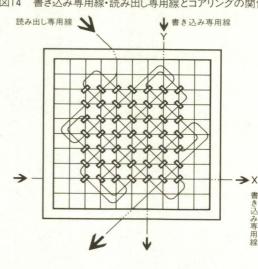
このIBMミニ博物館に、上記のSAGE（半自動防空システム）に使われたコアメモリーについて解説してあった。これが実にわかりやすく書かれていたので紹介する。前ページの写真Aは、ボストン博物館で見たSAGEの記憶装置である。電話ボックスをひとまわり大きくしたほどの箱状容器に装置が格納されている。上部三分の一と下部三分の一が、コアメモリーに情報を入れたり出したりする制御装置である。上部の装置が書き込み装置。下部が読み出し装置。あるいは逆かもしれない。いずれも真空管が使われている。

中央部には棚のようなものが見えるが、これは、図11のような構造になっている。まぎれもなく棚そのものである。棚には、写真Bのようにエナメル線で織った網戸のようなものがセットされている。それを近寄って子細に見ると、写真Cのようにエナメル線の縦線と横線が交差する部分に小豆大のリングが跨（またが）っている。これがフェライトコアという磁性体である。一個のリングだけを拡大してみたのが、図12である。このリングの中心を三本のエナメル線が通過しているが、この線を使って必要なコアを磁化させたり、あるいは磁化したコアから電気信号を取り出したりしている。縦と横に直角に交わっている線が入力線（書き込み線）で、リングを斜めに通過しているのが出力線（読み出し線）である。

すべての情報は「信号が〝ある〟」か「信号が〝ない〟」か、「0」か「1」かといった二進数で送られ、その連鎖をフェライトコアが記憶するのである。磁化したところが「1」で、磁化していないところは「0」である。したがって一個のコアは「1」か「0」かの状態を記憶する能力があるわけで、記憶の最小単位一ビットの能力をもっているということになる。コアが多ければ多いほど、記憶容量が大きいというわけである。たとえば図14の場合は、コアが横に七個、縦に七列で四九個だから、この一枚の記憶容量は四九ビットである。もちろんSAGEの記憶装置のメモリー枠にはざっと勘定しても四〇〇〇個ものコアがついていたから、一枚の記憶容量は四キロビット以上だったということになる。

図13を見ながら以下の記述を読んでほしい。Y1の信号なしでX1の信号もなし（交点磁化なし）、Y2の信号なしでX1の信号なし（交点磁化なし）、Y3の信号ありでX1の信号あり（交点磁化あり）といった具合に、縦線と横線に電気信号を流したとする。このときのコアの磁化状況は左端から「磁化なし」「磁化なし」「磁化あり」ということになり、これは二進数表現に読み換えると「001」である。これは十進法の「1」である。逆に言えば十数進法の「1」を記憶させたければY線とX線に、今述べたようにパルス信号を送れば、磁気コアが二進法の「001」として記憶するというわけである。

同じように、Y1の信号ありでX2の信号もあり（交点磁化あり）、Y2の信号なしでX2の信号もなし（交点磁化なし）、Y3の信号なしでX2の信号もなし（交点磁化なし）のとき、コアの磁化状況は左端から、「磁化あり」「磁化なし」「磁化なし」ということになり、これは二進数表現として読むと「100」で、十進法の「4」である。

図14　書き込み専用線・読み出し専用線とコアリングの関係

もう一つ同じようにY1の信号ありでX3の信号もあり（交点磁化あり）、Y2の信号ありでX3の信号もあり（交点磁化あり）、Y3の信号なしでX3の信号もあり（交点磁化あり）。このときのコアの磁化状況は左端から「磁化あり」「磁化あり」「磁化あり」ということになり、これは二進数表現として読むと「111」で、十進法の「7」である。

逆に言えば、十進法の「1」や「4」や「7」を記憶させたければ、Y線とX線に、今述べたようにパルス信号を送れば、磁気コアが二進数の「001」、「100」（百ではなくイチゼロゼロと読む）、「111」（百十一ではなくイチイチイチと読む）として記憶するというわけである。

最後に、XY線（書き込み専用線）と斜め線（読み出し専用線）とコアリングの関係を表したのが、図14である。読み出し線は一本のエナメル線が全コアを貫いているので、直線上にすべてのコアを順序正しく並べたことになる。だから頭から順に「磁化」か「非磁化」かを、電流に変えて取り出していけばよい。そして記憶した情報が不要になれば、全部のコアを消磁して新たな情報を入力する。だから磁気コアメモリーは、読み書き自由の一時記憶装置というわけである。難点は形状が大きく、膨大

B 「エニアック」への入力

A 弾道弾計算用の「エニアック」

な電力を必要とし、値段が高い。量産しても磁気コア一個が一セントであった。

ところで、右に述べた交点にスイッチを配置したらどうだろう。つまり碁盤状のスイッチボードをつくって、スイッチのオンとオフ情報を記憶させるのである。スイッチをONにしたところが二進数の「1」で、オフにした場所は「0」である。これもメモリーである。アメリカ陸軍が大砲の弾道計算用に開発したコンピューター「エニアック」の記憶装置は、文字通りスイッチボードであった。写真Aはエニアックの全景で、スイッチボードに女性が入力している風景が写真Bである。

では、このスイッチをMOSトランジスタでつくったらどうだろう。下巻第5章の二一五ページにも詳述しているが、MOSトランジスタは「電子で動くスイッチ」である。しかも小さなシリコンチップに、膨大な数をつくり込むことができる。大量の情報を記憶させる装置としては、これに勝るものはない。集積度が上がれば上がるほど、トランジスタ一個当たりのコストは下がる。最初、半導体メモリーはトランジスタ数個で二進数の「1」か「0」の状態を保持した。つまり、記憶容量の単位でいう一ビットの能力を確保するのに数個のトランジスタが必要であった。

したがって、集積度が上がるほど、一ビット当たりのコストが下がってくる。量産が可能になり、歩留まりが上がれば、一個一セントの磁気コアなど及びもつかない低価格になるに違いない。ロバート・ノイスは、そう考えたのである。

シリコンゲートによるMOSテクノロジー

少し余談になるが、IBMのミニ博物館に、写真のような穴開け装置があった。紙に穴を開けるのだが、穴が開いている場所は二進数の「1」で、開いてない場所は「0」というわけである。たとえば「●」を穴として、紙に「●○○●」と開いていれば二進数の「1001」。これは十進法では9を表す。こうして紙のカードに穴を開けることで記憶させようとしたのが、IBMカードである。ただ、これは一度穴を開けてしまったカードは穴を塞いで、また開け直すというわけにはいかないから、固定記憶装置ROM（Read Only Memory：読み出し専用メモリー）である。これに比べ、スイッチボードや磁気コアメモリーなどは消去可能で何度も記憶させ直すことができるから、一時記憶装置RAM（Random Access Memory）である。

穴開け装置（IBMのミニ博物館）

MOSトランジスタをシリコンチップに集積したメモリーにも大別して消去不能なROM（固定記憶装置）と、消去と再入力が自由にできるRAM（一時記憶装置）がある。

シリコンチップにMOSトランジスタを碁盤の目のように整然とつくり込み、二進数の「1」を記

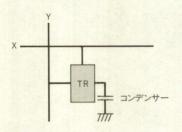
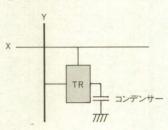
図15　MOSトランジスタとコンデンサー1単位の構成（1ビットのメモリー）

Ⓑ X線に電気が来ている場合

Ⓐ X線に電気が来ていない場合

憶させておきたい場所にあるトランジスタだけを配線すれば、これが固定記憶装置ROMである。線をつないでなければ動作しないから「信号なし」であり、したがって、二進法の「0」である。二進数で表現された情報がたとえば「010011」だとすると、左から二番目と五番目と六番目のトランジスタだけに線をつなぐ。これが半導体メモリーのうちの固定記憶装置ROM（読み出し専用メモリー）である。

半導体メモリーのなかのRAMは、MOSトランジスタとコンデンサーをペアにして碁盤の目のようにシリコンチップに集積したものである。下巻の二一六ページと二九一ページで詳しく触れているが、コンデンサーには電気を蓄える性質がある。ここで、情報というのは電気パルスの流れだから、コンデンサーにつなげば、そこに保持されることになる。

図15はMOSトランジスタとコンデンサーをペアにして、結線した一単位の構成図である。言い換えれば、一ビットのメモリーである。この場合、右のⒶのようにX線に電気が来てないときはMOSトランジスタのゲート電極には電圧が加わらないから、トランジスタはOFFである。だからY線の信号もトランジスタを通過できず、したがって、コンデンサーにも信号は蓄積されない。

DRAM開発中のスタッフ（右端がアンディー・グローブ）

左のⒷのようにX線に電気が流れてきてトランジスタのゲート電極に加わると、トランジスタはONになり、Y線の信号はトランジスタを通ってコンデンサーにつながる。そこで、信号はコンデンサーに蓄積されることになる。

蓄えた信号を引き出すときは、X線に再び電気を送ってトランジスタをONにする。すると、コンデンサーに溜まっていた電気（つまり二進数の「1」という情報）は、トランジスタの中を逆流してY線に流れてくる。あとは、Y線とX線に流れる信号のタイミングを制御することで、情報を蓄えたり取り出したりできるというわけである。こうした、いわばMOSトランジスタとコンデンサーを縦横碁盤の目状に整然とシリコンチップにつくり込んだのが、半導体メモリーの中のダイナミック・ラム（Dynamic RAM）DRAMである。ただ、コンデンサーに電気が蓄えられるといっても永久に保持できるわけではなく、やがて放電して消えてしまうわけだか

ら、完全に放電してしまわないうちに読み出して再び入れ直すことを繰り返さなければならない。数十マイクロ秒に一回の割合で、読み出しと再書き込みを繰り返すことで、記憶を保持するのである。したがって、DRAMの場合は、膨大な数のXY両線にタイミングよく信号を入れたり出したりする制御装置が必要になる。

コンデンサーを使わないで、数個のトランジスタを使って記憶保持回路を組み、それをシリコンに搭載したものをスタティック・ラム（Static RAM）、縮めてSRAMと呼ぶが、このメモリーは電源が入っている限り、DRAMのように読み書きを繰り返す必要がない。

またもや理屈が多くなってしまった。しかし、ロバート・ノイスが考えたことが何だったのかを理解するには必要だ、と私は考えた。なぜなら、彼らがフェアチャイルド社を捨てて新事業を興そうと決心するのも、この半導体メモリーの開発製造に会社の運命を賭けたからである。彼らは最初に、バイポーラ型（非MOS型）のトランジスタを集積したメモリーの開発に成功し、すぐに二五六ビットのMOS・ICメモリー、SRAMの開発に着手した。一ビットの記憶を保持するために六個のトランジスタを使ったので二五六×六＝一五三六個のMOSトランジスタを集積する仕事であった。ちなみに、現在のメモリーは、一〇〇万個から一六〇〇万個のMOSトランジスタとコンデンサーが搭載されている。

――SRAMは何が難しかったのですか。

ムーア　もちろんシリコンゲートのテクノロジーです。しかし、それは新しい会社にとっては適度な難しさだったと思います。負担が不可能なほど莫大な投資を必要とはせず、もてる力を結集すればできる程度の技術でした。私たちが開発したシリコンゲートによるMOSテ

クノロジーは、私たちを有利にしてくれたと思います。

――なるほど。

ムーア　それまでシリコンゲートというのは、すでに単体のMOSトランジスタには使われましたし、集積回路へ応用も提案されてはいたのですが、私の知る限りでは、まだだれ一人としてシリコンゲートで集積回路をつくった人はいませんでした。ですからインテル社設立後の第一目標が、シリコンゲートを使ったMOS・ICを成功させることでした。それが私たちの、明確なコンセプトの一つでした。

――なるほど。

ムーア　当時私たちの競争会社と目されたところは、同じことをやろうとしてことごとくつまずきました。ですから、インテル社はその後数年にわたって、このシリコンゲートのテクノロジーを使った製品では市場を独占することができました。そんなわけで創立早々のインテル社は直接の競争相手がなく、業績を非常に伸ばすことができ、またたく間に急成長を遂げたのです。

画期的デバイスの誕生パーティ

シリコンゲートを使ったMOSトランジスタこそが、フェアチャイルド社が世界に先駆けて開発した当時の最先端技術であった。それまではMOSトランジスタのゲート電極は金属膜を蒸着させることでつくったが、この金属膜を多結晶シリコンの膜にしたのがシリコンゲートであった。多結晶シリ

コンをガス状にして結晶表面に成長させ、そこにイオン注入装置でイオンを物理的に入れてやることで、シリコンを金属並みの伝導度にしようという高度な方法であった。このプロセスには巨大なイオン注入装置が必要であったが、当時はまだ装置自体に問題が多く、イオン注入という方法には微妙で精密な技術が必要であった。当時としては最も先端的なこのシリコンゲートの技術を、インテル社の技術者たちはフェアチャイルド社から引き継いでいた。

ＭＯＳの二五六ビットのスタティック・メモリーＳＲＡＭの開発に成功したのち、インテル社の技術者たちは直ちにダイナミック・メモリーＤＲＡＭに着手した。これに成功するかどうかにインテル社の将来がかかっていた。最初の二つの商品に比べて、膨大な量の需要が期待できたからである。いわばＤＲＡＭこそが、コアメモリーに取って代わる半導体メモリーだった。営業政策上はそれほど重要な商品であったが、ＳＲＡＭの開発に成功したあとでは、その応用に過ぎなかった。

もちろん、先述したように、ＭＯＳトランジスタのほかにコンデンサーも集積する必要があり、そのうえ複雑な制御回路もつくり込まなければならず、これもまた非常に高度なシリコンゲートの技術が必要ではあった。しかし、それらはすでにＳＲＡＭの開発過程で充分身につけていたからである。

こうして一〇二四ビットのダイナミック・ランダム・アクセス・メモリー（ＤＲＡＭ）が生まれた。商品番号「１１０３」と呼ばれるＤＲＡＭ、は半導体産業史上特筆すべき重要な商品になった。こうして、一九七〇年、インテル社は世界に先駆けて一キロビットのＤＲＡＭの開発に成功。コアメモリーより安い半導体メモリーが誕生したのである。

これらの製品を携えて、トップのロバート・ノイスは世界中に半導体メモリーを売り歩いた。彼は、日本にも足を伸ばしメモリーのセールスに全国を行脚した。

ストアード・プログラム方式の電卓

半導体産業史上の重要な商品となったダイナミック・ランダム・アクセス・メモリー（DRAM）を売り歩くノイスの姿に胸打たれ、彼に傾倒した日本人がいた。電卓戦争では、しばしば野心的な製品を市場に送り出し衝撃を与えることの多かった日本計算器（後にビジコン社に改名）の小島義雄社長であった。

小島　あれは確か一九六八年（昭和四三年）のことじゃなかったかと思うんですが、ロバート・ノイス自らが、アタッシェケースを手に日本の各メーカーを全部回ったんです。

――ほう。

小島　そのときに、彼がどんなことを話したかと言いますとね、自分の目的は全盛のコアメモリーをセミコンダクター・メモリーに替えることだと。彼はさらさらと黒板にコスト・パフォーマンスの予想推移を書きましてねえ。セミコンダクター・メモリーが多く使われるようになると、その量がどれだけになって、したがって、価格がこうなっていくはずだと。コアメモリーの価格とセミコンダクター・メモリーの価格が、何年後にクロスして、以後はセミコンダクター・メモリーの価格のほうが安くなるはずだと。一〇年のスパンで、大変熱情的にセミコンダクター・メモリーの推移予測を語ったものでした。

――へえ。

小島　今全盛のコアメモリーをセミコンダクター・メモリーに替えるのが、自分の使命だと、それは熱心に説いていました。ですからインテル社のロゴは、コアメモリーを齧（かじ）っているん

B　ビジコン162P電卓

C　プリント基板に装着された２個のＲＯＭ
（白いＭＳＩ）

A　ビジコン2017

ですよね。

――へえ。日本各地を行脚をして歩いたんですか、あのノイスが。

小島　そうです。私どもの社ではトップマネジメントの人間とエンジニアが全員集まりまして、ドクター・ノイスの説明を聞いたんです。私は非常に心を打たれましてね。明確な目的意識。労を厭わぬ行動。臨機応変な現実主義。ベンチャービジネスの基本を教えられたようで、私は大変感動しました。それで、私は組むならこのドクター・ノイスだと思いました。彼が率いるインテル社に、ビジコン社の電卓のＬＳＩ化を頼もうと考えたのです。

　ビジコン１６１電子式計算機は、昭和四一年当時、電卓市場に驚異的な性能と衝撃的な価格で登場した製品であった。それは超小型コアメ

モリーの利用で、初めて可能になった。こんな経験から、ビジコン社は早くから電卓におけるメモリーの重要性に気づいていた。

前ページの写真Aは日本計算器（後のビジコン社）が、昭和四二年（一九六七年）に〝万能電卓〟と銘うって発売した「ビジコン２０１７」である。二〇桁の加減乗除ができるのは当然として、特徴的だったのがＲＯＭカード（読み出し専用の穴開きカード）を使う点にあった。計算手順を二進数の命令に組み立てて、それを紙のカードに穴で表現するのである。たとえば命令が「００１０１１」だとすると、カードには「○○●○●●」と穴を開ける。「●」が穴の開いた箇所である。もちろん、命令はたったの一行などということはなく、一枚のカードには数十行の穴の行列が縦に並んでいた。

写真Ａの右下を見るとわかるように、カードを挿入口から入れると中のカードリーダーを通過して電卓の上部にある出口から出てくる。カードリーダーが穴のあるところと穴のないところを読み取って電気信号に変え、計算手順を計算回路に送るのである。このＲＯＭカードは目的別に二〇種類のソフトが用意されていた。さまざまな関数計算や、多元連立方程式などであった。これを使って駆動すれば、一つの電卓が、カード次第で土木設計から金利計算まで、いろいろな専用計算機に変身したのである。これがいわゆるストアード・プログラム電卓であった。ただし、これはまだアプリケーション（応用）部分だけをプログラム化したに過ぎなかった。やがてエンジニアたちは、このプログラム駆動の方式を電卓本体の基本部分にも採用したいと考えるようになった。ビジコン社がいくつかの会社とＯＥＭ契約を結び委託製造をしていたからである。ＯＥＭの相手ごとにハードで別々に電卓をつくるよりははるかに迅速に安く製造できるとエンジニアたちは考えたのである。

まずトランジスタで組んだ論理回路（ＴＴＬ）とＲＯＭで、ストアード・プログラム方式のプリンタ

—電卓を開発した。それが八一ページの写真Bのビジコン162P型電卓であった。

周りに並べられているプリント基板は九枚あるが、入力、演算、出力、一時記憶装置などをMSI（中規模集積回路）で組んである。その一枚には写真Cのように二個の白いMSIが装着されているが、これがROMである。ナショナル・セミコンダクター社に、電卓ソフトをMSIメモリーにつくってもらったのである。当然これは目的別に何種類か用意されており、用途を変えて発売したいときはほかを変えることなく、このROMを変えるだけで済んだ。ハードを変えることなくソフトを変更するだけで、言い換えればROMを変えるだけで、同じ機械を異なる目的に対応した機種として売ることができたのである。やがて、これらをMOSのLSIでつくり直そうという計画が持ち上がった。

小島　私どもは計算機メーカーとして、メモリーには重大な関心を抱いておりました。私どもの日本計算器が電卓市場に初参入しましたのも、超小型のコアメモリーを使った「ビジコン161」でした。その後、磁遅延線とか紙製のリード・オンリー・メモリー、つまりROMカードですとか、IBMカードですとか、それはさまざまなメモリーを電卓に採用したんです。

——なるほど。

小島　そうしたメモリーに電卓用のプログラムを記憶させておいて、それで同じ電卓を幾通りにも使いわける方法を考案しました。これをストアード・プログラミング方式と呼んでいました。実はコンピューターの世界ではまったく当たり前のことだったんですが、私たちは、それを電卓の世界に持ち込んだんです。それが「ビジコン162P」という電卓でした。

——なるほど。

小島　いわばソフトでもって電卓をコントロールしていくというシステムは、私どもがもっていたアイディアなんですね。ストアード・プログラミングという方式それ自体は、ドクター・クラインの頃からの古い原理ですから、だれでも知っておりました。

――なるほど。

小島　そんなときにドクター・ノイスの訪問を受け、彼のセミコンダクター・メモリーに対する情熱に触れまして、大変感銘を受けました。それでソフト・オリエンテッドな電卓をつくるならばこの人と組もうと。すなわちストアード・プログラミング方式の電卓をつくるならば、セミコンダクター・メモリーの普及を自分の使命にしているドクター・ノイスと組もうと、私は決めたのです。そこでインテル社とＬＳＩの設計製造契約を結び、そのために設計した論理回路をもたせて、当社のエンジニアをインテル社に派遣したのです。それをＬＳＩチップにしてもらうのが、目的でした。

米新興企業への汎用LSI発注

ビジコン社から三人のエンジニアが、アメリカ西海岸のインテル社に派遣された。高山省吾さんと嶋正利さんなどであった。嶋正利さんは少年時代にロケットに憧れ、手製のロケットの製作と打ち上げに熱中した。ある日ロケットが爆発して、嶋少年の右手は親指と人指し指を残すだけであとの三本が吹き飛んだ。東北大学理学部では有機化学を専攻したが、就職のときになって右手の指がないことが災いした。化学薬品を扱うにしても工場の管理をするにしても、利き腕の手先が不自由ではハンデ

ィが大き過ぎた。結局彼は、化学会社への就職を諦めて、大学の教授の紹介で「日本計算器」に入社した。入るとすぐにコンピューターのソフトづくりの仕事をさせられたが、やがて電卓の仕事に変わった。そこでストアード・プログラム方式の電卓に、深く関係するようになったのである。

そんな関係から、インテル社に派遣される技術者の一人に選ばれたのであった。嶋正利さんは現在四八歳、マイクロプロセッサーの開発を専門とするブイ・エム・テクノロジー社の取締役副会長である。嶋さんは、つい最近念願の工学博士を筑波大学で取得した。のちに紹介するＩＳＳＣＣ(国際固体回路会議)で発表した「８０８０」の開発に関する考察など二編の論文のほかに、最近ものした「マイクロプロセッサーのハードウェア・アーキテクチャーの最適化に関する研究」が評価されたのだという。

嶋　当時ビジコン社はコンピューターの仕事もしていまして、私は最初はプログラマーの訓練を受けたんです。しかし、ソフト部門よりはハード部門をやりたいということで電卓開発を担当することになりました。

――なるほど。

嶋　当時ビジコン社は大阪と東京に二つの工場をもっていまして、大阪のほうは従来型の電卓用をつくっていたんですが、東京のほうは電卓だけではなくて科学用の計算機とか電子秤とか、伝票発行機とか、会計機とか、電卓市場とはまた別のユーザーをもっていたんですね。そこで電卓以外にも使えるＬＳＩを、開発したいという欲求が

当時の嶋正利氏

強かったんです。つまり電卓専用のLSIチップではなくて、科学用計算機にも電子秤にも会計機にも伝票発行機にも使えるLSIが欲しかったんですね。

――なるほど。

嶋　それから、当時のカスタムLSIをめぐる状況について申し上げると、LSIメーカーはお客様の目的に合わせて一個一個特別に設計してつくる、いわば一品生産だったんです。ところがLSIチップを設計製造するということは、大変な人手と時間がかかるんですね。ですからメーカーは余程大量に、しかも確実にさばけるLSIでなければ、リスクが大き過ぎて、製造を引き受けたがらない。ですから、発注する電卓メーカー側も受注するLSIメーカー側も、共にもっと合理的な方法がないかと模索をしていた時代なんですね。ビジコン社も同じ悩みを抱いておりまして、そこで合理的な方法としてソフト化を考えたんです。

――なるほど。

嶋　電卓専用のLSIを何個も新規開発するよりは、汎用性が高く共用可能なLSIをつくり、これを駆動するプログラムをいろいろと変えることで、いろいろな電卓に使えないものかと考えたのです。それはハードをソフトで駆動するというコンピューターの考え方で実現できるのではないか。そう考えるヒントになったのが、たまたま入社当初に学んだプログラムの技法でした。しかもタイミングがよかったことには、日本の電卓業界がちょうどLSI時代に突入し、熾烈な生き残り競争をやっていました。ですから会社は、私のアイディアをやらせてみようということになったんです。

図16　ストアード・プログラム方式の電卓設計図（主要部分）

――なるほど。

嶋　そうした考えに基づいて設計したのが、ストアード・プログラム方式の電卓でした。

嶋さんたちが、インテルに提示した設計図の主要部分が図16である。図面は青焼きになっていて消えかかっていたので、テレビ画面で見やすいように私たちが線を引き直した。四角い枠で囲まれているのがＬＳＩで、一個に見えるがそうではない。四角い枠を一個のＬＳＩと見ると、全体では一七個もＬＳＩが必要になるが、それは誤りである。四角い枠は機能を表示したものであり、それらの何個かが一緒に一個のＬＳＩに集積されることになるから、ＬＳＩの種類はずっと少なくなる。それでも八種類のＬＳＩを、特別に開発する必要があった。

信号を時間割に従って配分していく、タイミング制御用のＬＳＩ、キーボードを制御する入力用ＬＳＩ、プリンターを制御する出力用のＬ

SI、計算処理をする演算用のLSI、それにつながる一時記憶装置レジスター。そして、それらを駆動するプログラムが格納されているメモリーROM。網かけしている部分である。演算用LSIを動かす動作手順が、二進数の命令に組まれてここにつくり込まれている。目的によってこのチップを取り替えれば、電卓がさまざまな専用計算機に変身する。こうした駆動方法をストアード・プログラム方式とか、プログラム論理方式とか言って、コンピューターの世界では当たり前のことであった。

当時のインテル社はまだ設立後一年もたっていない新興企業で、先に見た通りフェアチャイルド社とは、目と鼻の距離にある小さな平屋の建物であった。従業員数が一二五人、LSIの生産能力が月産二〇万個、すでにさまざまなメモリーの開発に成功し、量産のめども立ち、全社員がメモリーの生産を軌道に乗せるために必死に働いていた。

メモリーの生産には成功したが、それが主力商品となってインテル社の経済基盤を支えるようになるためにはまだ時間が必要であった。新興企業インテル社の資金的な基盤は、まだきわめて脆弱(ぜいじゃく)であった。

ある特定の顧客のために設計製造する特注LSIのことを、カスタムLSIと呼ぶ。発足間もないインテル社では、カスタムLSIの注文を取ることは大変重要な意味があった。開発したものが確実に金になるからである。通常の場合メモリーチップのようなものでも、新製品を発表してから市場で大量に売れるようになるまでにはかなり長い時間がかかり、その間の資金繰りが大変である。それに比べカスタムLSIは完成し次第、顧客が引き取ってくれるわけだから運転資金の心配がない。だから、カスタムLSIを受注することは経営を安定させるための良策であった。特に資金的な余裕が乏しい新興企業インテル社にとっては、メモリー生産が軌道に乗るまでの資金繰りのうえから考えても、

ビジコン社の仕事を受けることは大変重要であった。

ロックウェル社がシャープの電卓用のLSIをつくって莫大な儲けを手にしたことを知っていたインテル社は、彼らもまた二匹目のどじょうを狙ったようである。ビジコン社の仕事をもってアメリカ社に派遣された嶋正利さんは、インテル社が抱いていた思惑を次のように感じたと言う。

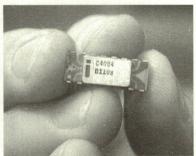
嶋　最初インテル社では、単に電卓用の専用LSIをつくるだけだから大したことはないと考えていたようです。当時はノースアメリカン・ロックウェル社がシャープの電卓用LSIを生産して大変な利益を上げたものですから、インテル社も二匹目のどじょうを狙ったんですね。ですからインテル社は、従来通りのごく簡単なカスタムLSIをこなすといった程度に考えていたんですね。それが当方の注文が「電卓専用のLSI」ではなくて、「電卓にも使える汎用LSI」をつくってほしいというのですから、大変当惑したようでした。

コストと性能のバランス探し

インテル社でビジコン社の仕事を担当したのは、製品応用部門の責任者テッド・ホフであった。先に紹介した全従業員の写真（六四ページ）では、最前列から三番目の右から三番目。ゴードン・ムーア氏の後ろ三列目に眼鏡をかけた人物が立っているが、それがテッド・ホフ氏である。

テッド・ホフさんの邸宅は、サンタクルツ山に近い丘陵地帯にあった。かつては果樹園が続いていたと思われるなだらかな丘の農道のような道を登っていくと、丘の中腹に平屋の瀟洒（しょうしゃ）な邸宅が建っていた。道から少し脇に入ると木製の表札。丸太を輪切りにした、分厚い木の板に飾り文字で、“Ted Hoff”

居間でくつろぐテッド・ホフ氏と夫人

ホフ邸の地下室

マイクロプロセッサー(右) を手にして語るホフ氏(左)

と彫ってあった。
広い居間に置かれたグランドピアノを流麗に弾く美しい夫人。それに耳を傾けるテッド・ホフ氏。仕事に疲れると、こうしてくつろぐのだそうである。平屋に見えたホフ邸は傾斜地に建てられているために、二階建てに等しかった。居間などの生活空間の一階下には、広い特別用途の空間が半地下の状態でつくられていた。玉突き台が置かれた一二畳ほどのプレイルーム。それに隣接する書斎と工作室。工作室にはつくりつけの大きな工作台があり、そこには小型の精密切削具が取りつけられている。電動工作機械の横にはつくりかけの電子装置。ハンダごてや配線中のプリント基板に無数の部品箱。それに数々の測定器が整然と並んでいた。なぜか、この部屋の写真撮影は禁止された。
ホフさんの仕事部屋は工作室の隣にあった。六畳ほどの広さの書斎であったが、壁の棚には参考書類や特許のファイルが並び、壁に向かって据え置かれた大きな机のほとんどを三台のパソコンが占めている。その机の前には大きくゆったりとした回転椅子。仕事に疲れると倒せばリクライニングソファーにもなる。テッド・ホフさんはそこに座って、終日コンピューターに向かうのだという。
——地下に、こんな部屋があるなんて、思ってもいませんでした。
ホフ　これは私のコンピュータールームです。ここに籠って、コンピューターでシミュレーションをやるんです。
——棚のファイルは特許ですね。
ホフ　そうです。今現在で一六件か一七件はあると思います。
——このお部屋で、大体何時間くらい仕事をなさるんですか。
ホフ　まあ日によりますね。隣には工作室がありまして、そこに籠ることも多いんですが、平均

すると一日に六時間から八時間くらいは地下室で過ごすかと思います。私はコンサルタントの業務もかなり行ってまして、そのほかに自分の楽しみのためにやっているプロジェクトというのもかなりの数がありますので、ここで過ごす時間が結構長いのです。

テッド・ホフ氏は、子供のときは化学に興味をもっていた。化学会社の専門家であった叔父の影響を受けたという。しかし大学に行く頃になると、エレクトロニクスにも興味をもつようになり、叔父も化学よりも電子のほうが将来性があるだろうと助言してくれた。それで彼はレンセラ工科大学(Rensselaer Polytechnic Institute)に進学。そこで電気工学を学び、その後カリフォルニアのスタンフォード大学で博士号を取得した。ロバート・ノイスから電話をもらい、インテル社に誘われたのは一九六八年のことである。入社してみると、テッド・ホフはインテル社第一二番目の社員であった。

ホフ 私がボブ・ノイスに電話で勧誘を受けたときは、まだインテルの社屋など決まっていませんでした。ですから、ノイスとの面接は彼の自宅で受けました。面接のとき彼の自宅には、のちにインテル社に入社する人たちが来ていました。

――面接では、何を聞かれたんですか。

ホフ 彼らは私に「半導体製品で、これから追求すべき分野は何だと思うか」と聞きましたので、私は「それはメモリーです」と答えました。これは正解だったわけで、事実、インテル社は半導体メモリーの分野で画期的な業績を挙げるわけですから。

――ホフさんは、インテル社では何を担当されたんですか。

ホフ 私の任務は、顧客のニーズに応えるような製品の応用超分野を開拓することでした。実は、私はそれまでICの設計というのはしたことがありませんでした。しかし、皆がオープン

で、熱心で、とても難しい課題に取り組んでいました。それらは、今でも理解できないような高いレベルの研究でした。そんな難しい研究にみんな夢中で、時間が過ぎるのを忘れて没頭していました。いずれも私の分野外でしたが、小さな会社で互いにとても緊密に仕事をしていましたので、門外漢の私も半導体テクノロジーについて多くのことを学ぶことができました。

——ビジコン社の仕事に関与されたのは？

ホフ　日本から三人のエンジニアがやって来たのは、一九六九年の六月末でした。私は実は設計には何も関係はなかったんです。私の役目はインテル社がつくっている製品の特徴や使い方を彼らに教え、理解を助けてあげることでした。

——なぜ、あなたが担当することになったのですか。

ホフ　インテル側としては、私がコンピューターに対してある程度経験をもっていて、コンピューター言語にも精通しているので会議に出席させるのが有益だと考えたのでしょう。

ストアード・プログラム方式の電卓には、コンピューターの知識が必要だとインテル側は判断したようである。テッド・ホフさんには、スタンフォード時代にコンピューターを駆使して仕事をした経験があった。特にディジタル・エクイップメンツ社のコンピューターPDP8を使っているグループと知り合ってからは、その性能や使い方に興味をもつようになり精通した。

そうした体験からインテルに入社すると、製品応用部門にはディジタル・エクイップメンツ社のPDP8を導入した。これがマイクロプロセッサーを生み出すうえで、非常に役に立った。一つはコンピューター特有のソフト・オリエンテッドな思考方式に対する感受性が鋭くなったことであり、もう

一つは具体的な設計をするときにPDP8を使って、理論的な可能性をつきつめることができたことである。

——するとホフさんは最初は、アプリケーション担当としての支援が主な役割だったんですね。

ホフ そうです。しかし、私は彼らの設計を見て興味が湧きました。と言うより、心配になったと言うほうが当たっていたかもしれません。つまり、彼らの設計した回路をチップにするとなると、大変なことになりそうでした。確か、彼らの案ではLSIチップが一二個も必要でした。それはインテル社の設計能力にとっても負担になるし、製造コストも上がる。したがって電卓市場で、優位に立てる低価格を実現することは無理になるだろうと思ったのです。

嶋さんは「八種類の異なるLSIを設計製造してもらう必要があった」と言っているのだが、ホフさんは「一二個以上も必要だった」と言っている。いずれにしても新たに設計製造するLSIは、一個や二個ではなかった。シャープがロックウェル社に頼んだLSIは、主要なLSI四個に過ぎなかったから、倍以上の数のLSIを新たに設計することになる。実は、そんな能力が当時のインテル社にはなかったのである。資金繰りのうえからは絶対にビジコン社の仕事は手放せない。かといって、八個から一二個ものLSIを新たに設計できる陣容にはなっていなかった。

ムーア ビジコン社が私たちに発注した特注のカスタムLSIは、一群の科学計算機用に使おうというものでした。ところが問題は、彼らがインテル社につくってほしいと考えていた回路がなんと一三種類もあり、それが全部複雑でした。

——ということは、それぞれ異なった複雑なLSIを一三も設計する必要があった?

ムーア　そうなんです。ところが当時のインテル社にはエンジニアリング・スタッフがまだ少なくて、一三種類もの異なる設計を同時にこなせる設計スタッフなどいなかったのです。どんなに精いっぱい努力しても、一度にはたった二、三種類のLSIを設計するのがやっとでした。ビジコン社が求めていた回路すべてを開発するという仕事は、私たちの能力を超えていたのです。

四ビット・マイクロプロセッサーの発想

ビジコン社側の技術者たちは、インテル社のLSI設計能力がわずかに二個か三個だとは想像もしていなかったから、ホフさんの顧客教育にも馬耳東風だったようである。こうなると、当初は嶋さんたちにインテル社の製品を手ほどきするだけと割り切っていたホフさんも、真剣にビジコン社案を検討する必要に迫られた。やがて彼はビジコン社案の特徴に注目するようになった。それは電卓がストアード・プログラム方式を採用している点であった。

ホフ　ビジコン社の製品群が特徴的だったのは、この会社がさまざまな製品群をもち、リード・オンリー・メモリーを使っていることでした。ビジコン社から派遣されてきていた嶋さんに聞いてみると、彼はリード・オンリー・メモリー（Read Only Memory）、つまりROMにストア（格納）されたプログラムで駆動し、そのプログラムを変えることで、同じ装置を別機能の商品として売ろうと考えていました。

――それで？

ホフ　当時私はディジタル・エクイップメンツ社のコンピューター「PDP8」をフォトランという言語でソフトを組んで、MOS回路のシミュレーションをしていました。そんなわけで私は、コンピューターのソフトをつくることには慣れていましたから、彼らの設計を子細に検討しました。すると、大きな欠点があることに気づいたのです。

――どんな欠点だったのですか。

ホフ　それはせっかくリード・オンリー・メモリーを取り入れながら、その能力を充分活かしきっていないという点でした。なにしろ、インストラクション（プログラム）が複雑過ぎて、リード・オンリー・メモリーを有効に使えなくなっていた。ロジック（論理）やインストラクション（プログラム）を簡略にすれば、ROMがもっと有効に使えるはずなんだがと思いました。リード・オンリー・メモリーの使い方には、もっと効率のいい使い方があるはずだ。そのためには、ロジックをもっと簡略化していく必要がある。そこで私も、その方法がないものだろうかと模索したのです。私がマイクロプロセッサーの開発に首を突っ込むようになったのは、それがきっかけでした。

ホフさんがビジコン案の長所と短所に注目したときのことを、嶋さんは今でも鮮明に覚えている。ホフさんは論理回路には見向きもせず、ROMチップに入れるプログラムだけを真剣に見つめていたというのである。

嶋　テッド・ホフは、じーっと私の書いた電卓用プログラムと命令を見つめていましてね、しきりに何か考えているんですよ。論理回路図ももっていったんですが、それにはまったく興味を示しませんで、私の提出した電卓のプログラムを穴の開くほど見つめているんです

ね。これは私があとから推察したことなんですが、彼はあのとき、何かいい方法がないだろうかと懸命に考えを巡らせていたんですね。

——それで？

嶋　そのときはそれだけだったのですが、私たちがインテル社に来てから三か月くらい過ぎた頃でしょうか、テッド・ホフが私の部屋に飛び込んできまして、「すばらしいアイディアが湧いたよ」と言って興奮しているんですね。「おまえたちが言っている一六桁とか八桁とかいう桁の多い計算を、マクロな命令でやるのではなくて、ずーっと低いマイクロな命令の組み合わせ反復でやらせてみようじゃないか」って言うんです。これがテッド・ホフが考えた、四ビットのマイクロプロセッサーでした。ですから、基本的な構想はまったくテッド・ホフが出したんですすが、トリガー（引きがね）として、私が提案したマクロな命令による電卓があったというわけです。

図17は、一つの電卓ソフトをROMにつくり込むために嶋さんが書いたもので、電卓用のプログラムとそれに使用するマクロ命令である。テッド・ホフがじっと凝視し続けた命令とプログラムの一部がこれである。左が命令群で、右がそれをプログラムに組み立てたものである。いずれも、同じようなものがA3判二枚ほどの紙にびっしりと埋まっている。

まず左の命令群を見ていただきたい。JUMPとかPRINTとかSUBとかADDとか書かれているのはアセンブラというコンピューター言語だそうである。コンピューターは実際には二進数の「0」と「1」で表現された電気信号で動いていくが、この二進数表現を機械言語と言うのだそうである。したがってコンピューターを動かすためには人間の意思を機械語に翻訳しなければいけないのだが、「0」と「1」

図17　電卓用のプログラムとマクロ命令

ARITHMETIC INSTRUCTION	TRS STR/STRn	n									
	SEND		TRS IDXO/REG								
			TRS FUNR/PRO								
	SUBR	n									
	RTRN	n									UJ
	STFI	n									CJ
	RTFI	n									
	PRINT	n	JUDGE								CJ
			EXE								
	NONE ZERO JUMP		AN≠0								
			AD≠0								
			DP≠0								
			D2≠0								
	SUB	0	SUB N								CJ
		1	SUB DP								CJ
		2	DEC DP								CJ
		3	DEC AS								CJ
	ADD	0	ADD N								
		1	ADD DP								
		2	INC DP								

で書くのは大変面倒である。そこで機械と人間の間をとりもってくれる表現手段が必要になる。それがコンピューター言語である。

JUMPは「分岐せよ」という命令であり、SUBは「引き算をせよ」、ADDは「加算をせよ」、PRINTは「印刷をせよ」、SENDは「アドレスの情報をメモリーに送るべし」という具合である。こうした命令も、ものによってはさらに細分化されている。たとえばSUB（減算せよ）の右欄は四段に分かれていて、それぞれに「0」「1」「2」「3」と番号がついている。SUB命令の「0」の段には「SUB　N」と記載されているが、これは「N桁のデータを引き算せよ」という意味である。以下「1」の「SUB　DP」は「小数点を引き算せよ」であり、「2」の「DEC　DP」は「小数点のレジスターから一を引き算せよ」であり、「3」の「DEC　AS」は「符号のレジスターから一を引き算せよ」である。

嶋さんがテッド・ホフに提示した文書には、

こうした命令が連綿と続いていた。

さて、こうした「命令」の「流れ」が右隣に掲載したプログラムである。これまたA3判の紙いっぱいにこうした記号が連なっている。いちばん上の右肩上がりの台形は「スタートする」を表し、その下の長方形が「実行する」、菱形が「判断する」、グランドピアノのような形が「印刷する」である。つまりソフトをつくるとかプログラムを組むというのはある目的を遂行するために右のような膨大な命令群を考え、それらを一つの流れに組み立てることなのだそうである。

嶋さんの考えはこうであった。たとえば八桁の計算機能を想定すれば、装置そのものは最大二〇桁の計算ができるようにマクロな命令（つまり、右のような方法）でつくっておき、そのうえで八桁の計算ができるように計算手順をプログラミングすることで、八桁計算機として機能させていこうというわけである。

これに対してテッド・ホフの提案した「マイクロな命令」による方法というのは極端な言い方をすれば装置の計算機能は「十進法における一桁の加算ができれば充分」と割り切ったうえで、そうした「最も単純な計算器」と「それを動かすプログラム」を巧みに組み合わせれば、どんな複雑な計算もできるという考えであった。これなら非常に少ないLSIでビジコンが要求する機能を満たすことができるとテッド・ホフは考えた。これが四ビットのマイクロプロセッサーの発想であった。

ところが、すでに自分たちの方針通りに作業を進めていたビジコン社の技術者たちは、テッド・ホフの提案には消極的であった。テッド・ホフの方法に乗れば、それまで進めてきた仕事がすべて無意味になり、初めからやり直さなければならないかもしれなかった。日本側の賛成が得られないと知って、テッド・ホフは、インテル社のトップに相談をもちかけた。

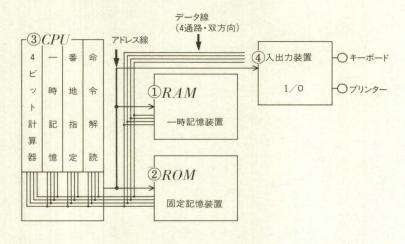
ホフ　ビジコン社のエンジニアたちがあまり乗り気ではなかったので、私はインテル社の何人かに私の考えをもちかけてみました。すると、みんなが私のアイディアのほうが優れていると言うのです。特にボブ・ノイスやレス・バデスなどは、もし私に別の考えがあるのであれば、やってみたらどうだと言ってくれたのです。ビジコン社の案が行き詰まったときの代案というか、保険をかけるようなつもりがあったのでしょう。首脳陣は設計の仕事を簡単にできるようなアイディアならなんでも大歓迎だったのです。とにかく、なにがなんでもLSIの数を減らさなければならなかったからです。そんなわけで、私はビジコン社とは別に自分の考えで設計することになりました。

迫られた開発案の選定

こうして、インテル社では二つの開発案が進行した。スタッフが少なくてどうしてもチップを減らしたいインテル社側、自分たちの設計に自信をもっていた日本側。ビジコン社のエンジニアたちは着々と論理回路を簡略化していった。一方テッド・ホフはストアード・プログラムの発想を極端に推し進め、ついに革命的な考えに到達していた。一九六九年八月下旬のことであった。

図18は、テッド・ホフの発想とビジコン側の考えを加味して書かれた概念図である。私の理解できた範囲で簡略化した。八月の時点でテッド・ホフが提示してきたのは、③のCPUの部分だけであったという。RAMとROMは、CPUとは別に市販のLSIを使うようにというのが回路をハードとしたインテル社側の提案であった。市販のRAMとROMは、ビジコン社の意図する電卓に使うため

図18　CPUを中心とするシステムの概念図

には記憶容量が不足していた。したがってRAMとROMも、新しく設計製造するのをビジコン社側はインテル社側に要求した。

ビジコン社側がもっと不満を抱いたことは、テッド・ホフが当初はキーボードとプリンターの駆動についてはCPUで駆動することは考えていなかったことである。キーボードとプリンターを駆動するLSIで別につくるとなると、「CPUをソフトで駆動する」利点がまったくなくなってしまう。そこでビジコン社側は、キーボードとプリンターもCPUと駆動ソフトで動かすべきだと強く主張した。こうして概念図のようなシステムができ上がっていったのである。

①のRAMにユーザーのそのつど入力した情報とROMに格納されている電卓プログラムの信号を、③の処理装置が解読し計算し、所定の番地に配送する。こうした動作を一秒間に十万回の割合で繰り返しながら、ROMに書き込まれている命令を順次処理していくのである。こ

うした構想に基づいて、③のような中央処理装置（CPU）を一個のLSIに集積し、それとROM、RAM、入出力装置（I／O）などをそれぞれ一個のLSIに集積すれば、電卓を四個のLSIで駆動できるのではないかと技術者たちは考えた。

特に③の中央処理装置を、最初はARU（Arithmetic Unit：計算装置）と呼んでいたが、やがて中央処理装置（Central Proccessing Unit）CPUと呼ぶようになった。これはLSIに載るほどのマイクロ（微小）なプロセッサー（処理装置）だという意味で、マイクロプロセッサーと呼ばれるようになった。

特筆すべきことは、単に計算のみならず、キーボードもプリンターも、プログラムで制御しようとした点である。さらに大切なことは、同じCPUを使ってもROMの中身を変えれば、これにつながる装置が別の機能を発揮するということであった。

ホフ　これによってインテル社の設計業務が大幅に軽減され、コストが激減し、LSIにかける費用を劇的に逓減でき、したがって計算機の価格競争力を上げることができると考えたのです。

——今度ばかりは、ビジコン社側も折れざるえなかったんでしょうね。

ホフ　いえ、そんなに簡単ではありませんでした。細かいやりとりまでは覚えていませんが、ビジコン・チームの反応ははっきりと覚えています。嶋さんの意見では、彼らはビジコン社案に基づいて、すでに膨大な量の命令をコード化してしまったので、この段階に来てインテル社案を採用するとなると、全部の作業を最初からやり直さなければならないが、それは大変なことになるというのです。

――本当に気持ちはわかりますね。

ホフ　私が提案したシステムのもとでは、それまでに彼が書いてきたコードでは合わなくなってしまったわけなんですね。だからといって、その作業をするのは彼が最も適任者でした。開発すべき商品については、彼がすべての機構や機能というものを熟知していたからです。ですから、新しいフォーマットのための書き替え作業をするのは彼でしたが、当然のことながら、それはかなり過酷な重労働になるわけですからね。

――東京のほうは？

ホフ　ビジコン本社のトップは、こちらに来ている技術者たちよりはずっと率直に私たちの考えを受け入れてくれました。インテル社案のほうが少ない数のチップで済み、したがってエンジニアリング関係のコストが激減し、しかもできるＬＳＩがさまざまな用途に使えるとなれば、経営的には当然の選択でした。

第 章

マイクロプロセッサーの誕生

ストアード・プログラム電卓の実現

インテル社から提出されたテッド・ホフ案に合意したビジコン社は、同社との間に正式契約を結ぶことになった。一九六九年（昭和四四年）四月二八日にまず仮契約が結ばれ、翌一九七〇年（昭和四五年）二月六日に本契約が結ばれた。その文面にはインテル社がビジコン社の要請を受けて設計製造する四個のＬＳＩのことを、「このグレート・スケール・サーキット（大規模集積回路）は、リード・オンリー・メモリーによって制御されるシステムである」と明確に概念規定をし、「そのシステムをインテル社とビジコン社が共同して開発するものとする」と明記してあった。ビジコン社は開発費用として一〇万ドルをインテル社に支払い、あわせて三〇か月以内に六万キットを必ず買うこと。その代わり、開発された製品はビジコン社が販売権を独占するというのが本契約の内容であった。仮契約のあとの本契約では内容の一部が変更されていた。

小島　本契約は、一九七〇年の二月六日に締結しました。ノイスもなかなかしたたかなところがあると思うんですが、仮契約からわずか八か月で重要な言葉が変わっているのです。仮契約では単に電子式計算機（エレクトロニック・カリキュレーター）となっていた言葉が、本契約では卓上式計算機（デスクトップ・カリキュレーター）と、さりげなく変更されていたのです。

――何がどう違うのですか。

小島　すなわち、カリキュレーターには大型コンピューターから小型電卓まで非常に広範な概念を含んでいますが、デスクトップになると、卓上という狭いカテゴリーに限定されます。

AGREEMENT

his Agreement entered into as of February 6, 1970, by and between Intel Corporation,
corporation organized under the laws of the State of California, U.S.A. whose
ead office is located at 365 Middlefield Road, Mountain View, California, U.S.A.
(hereafter referred to as Intel) on one part and Nippon Calculating Machine Sales
Corporation whose head office is located at 15-4, Uchikanda 2-chome, Chiyoda-ku,
Tokyo, Japan, Nippon Calculating Machine Corporation whose head office is located
at 27 Komatsubara-cho, Kita-ku, Osaka, Japan and ElectroTechnical Industries
Corporation whose head office is located at 7 Kanda-Mitoshiro-cho, Chiyoda-ku,
Tokyo, Japan, corporations organized under the laws of Japan (hereafter collectively
referred to as NCM) on the other part.

Witnesseth

Whereas: NCM is a manufacturer of various units of equipment known as Busicom
Desk-Top Electronic Calculators and desirous of developing and manufacturing new
calculators using large scale integrated circuits, and
tronic devices and desirous of
for Desk-Top

Intel

By Robert N. Noyce

Nippon Calculating Machine S

By

Nippon Calculating Machine

By

ElectroTechnical Indust

Article I

Products are defined as integrated circuits for read-only-memory-oriented-systems jointly designed by Intel and NCM during the course of this agreement, now envisioned to include four circuits namely the NCM-ARU, NCM-ROM, NCM-RAM, and NCM-SHR including NCM variations of bit patterns for the NCM-ROM.

The above mentioned NCM-ARU, NCM-ROM, NCM-RAM, NCM-SHR shall be equipped with the following capabilities.

ビジコン社とインテル社の正式契約書

——インテル社にとって、何がメリットになるんですか。

小島　契約をデスクトップに限定してしまえば、「卓上」の「計算機」以外の目的、たとえばコンピューター端末用にチップを売っても、契約違反にならないわけです。当時のアメリカでは、コンピューターの端末は大きな市場でしたから、インテル社にとっては大きな意味がありました。

——マイクロプロセッサーの用途の広さに、インテル社が気がついたんですね。

小島　そうだと思います。ところが私どもにとっては、商品のすべてがデスクトップでしたから、デスクトップという概念規定を契約に盛り込んでも構わないんじゃないかと考えました。と言いますのも、当時はコンピュー

ター端末の製造などはデンデンが支配しておりましたから、たとえ、その権利を留保しても、日本国内では事実上無意味だと考えたのです。

——何ですか、デンデンの支配というのは？

小島　今のNTT、一昔前の電電公社のことです。コンピューターはもちろん、その端末機なども、日本では電電公社に支配されていたのです。製造できなかったのじゃないんですが、製造しても買ってくれなかったのです。私どもの会社が電電ファミリーだったら事情は異なっていたんでしょうけれども、一中小企業では端末機などには絶対に手を出せなかったんです。

——もし電電ファミリーの一員だったら、ボロイ儲けになった？

小島　そうでしょうね。

この契約から三年たった一九七三年（昭和四八年）の四月、契約の修正が行われた。インテル社はビジコン社側の強い要請による修正だったと言い、ビジコン社社長の小島さんはインテル社側からの要請だったと言うのだが、いずれにしても修正契約ではビジコン社は独占販売権を放棄し、代償としてインテル社からチップ販売額の五パーセントを払ってもらうことになっていた。これでインテル社は、共同開発した四種類のチップを自由に販売できるようになった。こうしてマイクロプロセッサーが、インテル社に根づいていくのである。その詳細については後述する。

さて、インテル社との正式契約によって、テッド・ホフの案に基づいて四個のLSIが設計され、製造されることになった。ROMを搭載した「4001」、RAMを搭載した「4002」、入出力装置に使われる「4003」、そして中央処理装置CPUを搭載した「4004」。したがって、この「4

004」のチップだけをマイクロプロセッサーと呼び、のちに全体をマイクロコンピューター・システムと呼んだ。このシステムのROMに格納するプログラムを変えることで、同じ電卓をいろいろな機種に変えて売ろうというわけである。ビジコン社が当初計画したLSIによるストアード・プログラム電卓が、こうして実現することになったのである。

発注側の技術者として、再び嶋正利さんが派遣された。このときこのシステムを最初に考えたテッド・ホフは、ビジコン・プロジェクトを離れて本来の仕事に戻っていた。

嶋さんが二度目に渡米したとき、空港に出迎えてくれたのが新しくインテルに入社したフェデリコ・ファジン氏であった。右の四つの機能を四個のLSIにつくり込むのが、半導体プロセスの専門家である彼の仕事であった。これ以後、二人が協力し合ってシステムを完成していく。二人で四つの機能を四つの論理回路に設計し、それをファジンが指揮して電気回路に変え、半導体プロセスで処理して四個のLSIにつくり込んでいく。ただ、嶋正利さんは、最初に肝心のCPUの論理設計をしたのは自分であったと、次のように回想している。

嶋　ロバート・ノイスは、論理設計の専門家を雇うために四方探したらしいんですが、何しろコンピューター関係者は、一六ビット以上のメインフレームなどの大型コンピューターに熱を上げていましたから、四ビットのプロセッサーなどという、レベルの低い仕事に興味をもってくれる人が見つからなかったんですね。

――四ビットじゃ、「人を馬鹿にするな」ですか？

嶋　そう。論理屋さんを何度も募集したらしいんですが、次々と面接にやってくる専門家が最初はこちらの話を聞いていても、やがて仕事の内容が四ビットのCPUの設計だとわかっ

て、憤然と席を立ったというんですね。なかなか論理設計の担当が決まらないままで困っていたところに、嶋が日本から戻ってきた。これは幸いというので、「嶋、おまえやってくれないか」ということになった。それで、結局私が論理設計をやるはめになってしまったんです。

——論理設計を全部ですか。

嶋　あのとき四種類のチップをつくったんです。心臓部の四ビット中央処理装置（CPU）、データを格納するラム（RAM：Random Access Memory）、命令を格納するロム（ROM：Read Only Memory）、データの入力と結果の出力を担うペリフェラル入出力装置、この四種類のLSIが必要だったんですが、CPU以外は従来の論理モデルが援用できて簡単ですから、ファジンにやってもらいまして、最も重要なCPUは私が設計しました。

——紙の上に？

嶋　そう。全部手描きで、一つ一つのトランジスタを大きな紙の上に配置していったんです。この論理図面を仕上げるのが、私の仕事でした。これを電気回路の図面に直してLSIにつくるのが、フェアチャイルド社から新しく入社したフェデリコ・ファジンの仕事でした。

寸法の入っていないトランジスタで図面を描くところまでが論理設計で嶋さんの仕事であり、その図面に描かれた無数のトランジスタのサイズを決定し、論理回路を具体的な電子回路に直し、レイアウト（マスク図形）の設計をし、フォトエッチングや拡散やイオン注入などの半導体プロセスを処理してLSIにするのがファジンの仕事だったと嶋さんは言う。

トランジスタのサイズは、大変重要であった。大きくするとスピードが速くなり、小さくすると遅

くなる。速いほうがよいに決まっているが、チップサイズと消費電力に制約があるから、必要な機能に対して最小のサイズを割り出さなければならない。何千という個数のトランジスタをわずか数ミリの中に組み込もうというのだから、一個一個の大きさを間違えると、チップ全体が大きくなる。チップ一個の大きさが大きくなると、一枚のウエハーから取れる個数が少なくなるから、たちまちコストが上がってしまう。

「4004」の場合、約二三〇〇個のトランジスタを組み込んだのだが、ノイスをはじめインテル社の関係者は集積個数の多さを懸念した。二三〇〇個という、当時としては想像を絶する数のトランジスタを、数ミリ角のチップに組み込まなければならなかったが、それがファジンの仕事であった。

共同開発者の絶大な"自負"

フェデリコ・ファジン氏は一九四一年一二月、イタリアのヴィンセント市で生まれ、パウダ大学で物理学の博士号を取得後、一九六五年にオリベッティ社に入社、そして一九六八年に渡米し、フェアチャイルド・セミコンダクター社に入社した。半導体こそがエレクトロニクスの将来を左右し、フェアチャイルドこそが世界一の半導体技術をもつ会社だと信じていた。フェアチャイルド社では、シリコンゲートによるMOS・LSIの製造法開発に貢献した。それはMOS・LSIの集積度を格段に上げる画期的な技術であったが、フェアチャイルド社は彼が開発した技術の採用には消極的であった。

一方、インテル社のロバート・ノイスやゴードン・ムーアは、二三〇〇個のトランジスタを小さなチップに集積するには、フェデリコ・ファジンの力が必要であると考え、彼をインテル社に勧誘した。

当時のフェアチャイルド社に失望していた彼は、インテル社の新しい仕事に自分の未来を賭けた。一九七〇年、彼はフェアチャイルドを退社して、インテルに入社した。

彼はその後四年間インテル社でマイクロプロセッサーの設計製造に従事したが、一九七四年にザイログ社を設立するために、嶋さんを誘って退社。新会社で、有名なマイクロプロセッサー「Z80」を嶋さんとともに開発した。その後、シグナ・テクノロジーズ社という会社も創立し、ここで、音声で動くワークステーションを開発。四年前(一九八八年)にはシノプティクスという会社を設立し、現在はそこで人間の中枢神経にも似た人工知能を開発中である。

ファジン　当時、フェアチャイルド社の製品は、市場で落ち目になっていましたし、もっと程度の高い設計をやってみたいという気持ちがありました。そんなわけで、インテル社に勧誘される二年ほど前から、得意のシリコンゲート技術が役に立つ会社を探していたんです。一方インテル社は最初のマイクロプロセッサーを開発することになり、「4004」設計のチーフが欲しかった。それでインテル社は私にぜひ来てくれないかと、強く要請したのです。

――当時はインテル社の技術は、どれくらいの水準にあったのでしょうか。

ファジン　加工技術に関しては、ずば抜けていました。何しろシリコンゲートのプロセスをもっていましたので。インテル社が他社に先駆けてマイクロプロセッサーを実現できた最大の要因も、このシリコンゲートプロセスがあったからだと言って過言ではありません。テキサス・インスツルメンツ(TI)社もほぼ同じ頃にマイクロプロセッサーを手がけていましたけれども、シリコンゲートの技術がなくてうまくいかなかったようでした。シリコンゲ

フェデリコ・ファジン氏

ートを使えばメタルゲートよりもはるかに集積度があがり、同数のトランジスタを集積するならシリコンゲートのほうが、はるかに小さなチップをつくることが可能でした。

——なるほど。

ファジン　しかし、ここで強調しておきたいのは、そのシリコンゲートの技術は、この私が一九六八年にフェアチャイルド社で開発したものなんです。そしてこの技術こそが、マイクロプロセッサーを実現させるためのキーテクノロジーでした。

常に笑みを絶やさない柔和なファジンさんであったが、口にする話は歯に衣を着せない刺激的な内容であった。通訳の任に当たってくれたリサーチャーの野口修司さんは、しばしば話を中断しながら、「ファジンさんはこんなことをおっしゃっていますよ」と、こちらの反応を窺うのである。

ファジン　テッド・ホフが基本設計をしたあと、今度はそれをLSIにつくらねばなりませんでしたが、それができるエンジニアは私しかいなかったということです。

——なるほど。

ファジン　ですから、最初のマイクロプロセッサーを設計製造するチームは、私の全責任でスタートさせたのです。何人か製図工を雇い、ほとんどの仕事を私と嶋さんと二人のドラフトマンだけでやり遂げたのです。

「モノにつくることができなくてなんの新発想か」というファジンさんの本音が、強烈に前面に出て

いるようでおもしろい。それも大上段に構えて、熱弁をふるうわけではない。にこにこ笑みを浮かべながら、「ビジコンの原案は平凡だった」とか、「テッド・ホフの考えだって当時はよく議論されたもの」とか、「大切なのは机上の空論ではなくて、実際にモノをつくってみせること」だとサラリと言ってのけるのである。ファジン流の自己主張が、次第にエスカレートしていく。

ファジン　私の役割は、4000番ファミリーを実際につくることでした。回路設計をし、LSIに搭載するためのレイアウトを設計し、それをテストして生産可能であることを証明し、そして実際に製造してみせることでした。つまりプロジェクトの全責任を、私が担い指揮したのです。

——なるほど。

ファジン　かつて、これほど複雑なチップを設計し製造したことはないと言われていましたので、私の責任は重大でした。前代未聞のチップを実現してみせること。それが私の役目でした。私はそれを実際にやってのけたのです。

——では、嶋さんの役割は？

ファジン　「4004」の論理設計の段階では、大いに助けてくれました。彼は実によくやってくれました。「4004」の仕事が大変早く進んだのは、嶋さんの手助けがあったことが大きかったと思います。

——助けただけですか。

ファジン　とても熱心に論理設計を手伝ってくれました。嶋さんは、そうした仕事には抜群の能力を発揮しました。彼は私の期待通りに、見事に完璧にやり遂げてくれたのです。

「なんと、わが嶋さんを助手扱いか」と妙な愛国心が頭をもたげてくる。私は我を忘れて「野口さん、そこのところをもう一度確認して」と思わず叫んでしまった。

——つまり、「4004」の基本的なアイディアはテッド・ホフの案で、あとはあなたがそれを具体的な論理回路に組み、電気回路にし、LSIにしたというわけですか。

ファジン　その通りです。

——でも嶋さんは、論理設計のプロだと聞いていますが。

ファジン　論理設計はそうかもしれませんが、LSIの設計やマスクの設計は経験が皆無でした。彼は基本的にはLSIの設計を、まったくしたことはなかったんです。ですから、私がすべてを手ほどきして、彼に手伝ってもらったのです。

半導体プロセスについては嶋さんは初体験だったのだから、ファジンさんの言う通りだろう。しかし論理設計も自分がやったと言うのは時間的につじつまが合わない。ファジン氏は嶋氏よりあとに参加したからである。ただ主観的には、自分が全体を取り仕切ったと考えたのだろう。何しろフェアチャイルド社からこのプロジェクトの責任者として迎えられたファジン氏としては、論理設計も自分のコントロールのもとで嶋さんがやったのだと考えても不思議はない。

ファジン　彼がすばらしかったことは、仕事の完璧さでした。絶対にミスを犯さなかったことです。時間に追われているとき、これはきわめて重要なことでした。私は彼の完璧主義に、全幅の信頼を寄せていました。何かをチェックしたいとき、嶋さんになら全面的に頼むことができました。嶋さんに、あることをこうしたいと頼むと、彼は寸分の違いもなく忠実に実現してくれました。しかし彼の貢献は、「4004」の決定的な要素ではありませんで

した。彼のおかげで、時間を節約することができたということです。

しかし、客観的には論理設計は嶋正利さんがやったというのが真相のようである。一九八一年のIEEE（全米電気電子技術者協会）の機関誌に寄稿したロバート・ノイスとテッド・ホフの論文「インテルにおけるマイクロプロセッサー開発の歴史」では、次のように述べている。――「フェデリコ・ファジンはフェアチャイルド社ではウエハープロセスの開発に従事していたが、インテル社に移ると新しいプロセッサーのコンセプトをすぐに把握し、MOSトランジスタで集積する作業に取りかかった。ファジンは当時電卓一号機のためにプログラムを開発していたビジコン社のエンジニアたちと緊密に仕事を進めた。ビジコン社から派遣されてきていた技術者の一人が嶋正利であった。彼はのちにインテル8080の首席デザイナーとなり、さらにはザイログ社に移ってからもZ80やZ8000などを開発した。彼のこうした実績を考えると、4004のデザインでも嶋正利が最も影響力をもっていたと考えるのが公平であろうと思われる」。

TI社は、電気メーカーのゼニス社を自社のもつマイコンの特許を侵害したと法廷に訴えた。一九九〇年（平成二年）のことである。この裁判には、マイクロプロセッサーの開発に関係する六〇〇ページにものぼる膨大な一次資料が提出された。そのなかに、テッド・ホフが顧客に出した書簡が収蔵されている。「4004」が完成した直後の一九七一年四月八日に、スペンスリー社に出したものであった。そこには次のようなくだりがある。

「4004セットの基本的なコンセプト、すなわちさまざまなチップのシステム化と命令セットの大半は私自身が考えたものです。（中略）ただ、命令セットの作成ではインテル社のスタン・メイザーとビジコン社の嶋氏が大きく貢献してくれました。レイアウトと回路設計は主に、インテル社のフェデ

リコ・ファジンによってなされました」

命令をつくりプログラムをつくったのはテッド・ホフとサタン・メイザーと嶋正利であったと書いてあるが、フェデリコ・ファジンがやったとは書いてない。ファジン氏の果たした役割は、電気回路化とマスク設計および半導体プロセスだったようである。それも、嶋さんに言わせると、テッド・ホフの立場では論理設計を顧客にやってもらったとは口が裂けても言えなかったのであり、実際は論理設計のほとんどは自分がやったと言うのである。

また、『マイクロプロセッサー・リポート（*MICROPROCESSOR REPORT*）』という雑誌の一九九一年（平成三年）一二月二六日号では、「マイクロプロセッサーを生み出した先覚者達」という記事が嶋正利さんを「インテル4004と8080の論理設計をした人物」と紹介している。どうやら、論理設計も自分がやったというのは、ファジン氏の勇み足のようである。

▩マイクロプロセッサーの設計法

フェアチャイルド社の廃屋から歩いて三分の所に、インテル社最初の本社があった。現在は、ある建築会社の所有になっているが、その外回りの様子は先に述べた。日本からやってきた嶋正利さんは、この中のどこで仕事をしたのだろうか。

玄関に回ってガラス窓に顔をつけて中の様子を見ていたら、通りに車が停まり、降りてきた男から「おまえたちは何者だ」と誰何(すいか)された。建築会社の共同経営者の一人であった。事情を話して中の撮影をさせてほしいと頼むが、とりつくしまがない。何を言っても「ノー」である。よく聞いてみると、

A　検査室があったところ

B　かつてのオフィスに立つファジン氏

「夕べ泥棒に入られて中にあった車を盗まれたばかりだ」と怒り心頭に発している。

これは万事休すかと途方にくれていたら突然、救いの神が現れた。もう一台の車が停まり、太った女性が降りてきた。男の奥さんであった。彼女は無類のテレビ好きらしく、「テレビ撮影」という言葉を聞いただけで浮かれだした。彼女の断固とした決断で、屋内の撮影があっさりと許された。

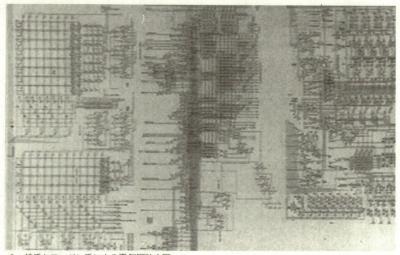
裏側と違って、通りに面した表側は、写真Aのように、すっかりオフィス用の空間に改装されていた。ここにはかつて、製図室や検査室があったという。この写真の奥に明

るい光がさしているが、そこにインテル社のオフィスがあった。ロバート・ノイスやゴードン・ムーアなどの重役たちの部屋と会議室が並び、その向かいにファジン氏と嶋さんたちの仕事部屋があった。

写真Bは、かつてのオフィスに立って説明をするファジンさんである。チームのメンバーには、嶋・ファジンご両人のほかに、図面を引くデザイナーが男女一人ずついたという。世界初めてのマイクロプロセッサーの設計が行われたのが、この部屋であった。

少し回り道になるが、マイクロプロセッサーの設計というのは、およそ五段階の過程を経る。第一段階は、仕様書の作成である。どのようなユーザーを想定して、どのような機能を盛り込むか。また、LSIの大きさや消費電力をどの程度に抑えるか。LSIの動作速度をどこまで上げるか。そうした要求をどのような半導体プロセスで実現するか。たとえばP-MOSにするかN-MOSにするか、金属ゲートを採用するかシリコンゲートを採用するか、といったことである。逆に言えば、このウエハープロセスの方法が決まればほかの要因の多くが必然的に決まってしまうことが多い。

さて、第二段階の仕事は、数ミリ角のチップの中に必要な機能をどのように配置するかという、「ブロック図」を作成することである。たとえばテッド・ホフの最終案でも「四ビットの計算」「一時記憶」「番地指定」「命令解読」など四つの機能が考えられたが、それらをチップの上に合理的に配置するのが非常に重要な仕事である。住宅設計で言えば、間取りと設計である。これを誤ると無駄な面積が増え、チップが大きくなったり、無駄な電力を食ったり、LSIに加工しにくくなったり、でき上がった商品にトラブルが多くなったりする。

第三段階は、仕様が決まり、機能配置が決まったところで、これを実現するために論理を組み立てる「論理設計」である。AND回路とかNOT回路とかOR回路を駆使して、それぞれの機能を論理

C　嶋氏とファジン氏による電気回路全図

E　さらに拡大した回路全図

D　電気回路全図の拡大

図19-B　マスク図形に翻訳したパターン

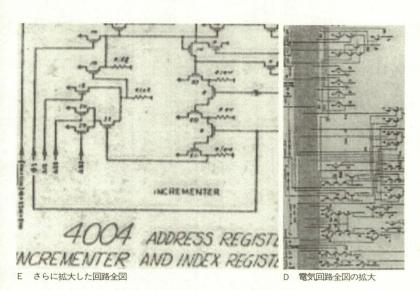
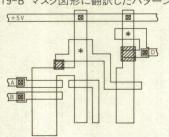
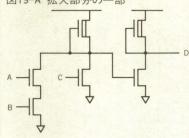



図19-A　拡大部分の一部

図に仕上げていくのである。それは、「くらげ」や「釣り鐘」記号の連鎖になる。ただ、嶋さんたちが設計した頃はまだくらげ記号や釣り鐘記号がなかったので、論理設計も、実際のMOSトランジスタの記号を使って設計したという。

論理回路にはトランジスタのサイズが記入してないが、トランジスタのサイズを入れたものが電気回路図であり、そうすることが第四段階の「回路設計」になる。さらにこれをシリコンチップ中にリソグラフィ技術を駆使してつくり込むためには、写真のネガに相当するマスクが必要だが、電気回路を何枚かのマスク図形に翻訳する仕事が、最終段階の「マスク設計」である。

写真Cは、嶋さんが論理設計をし、それにファジンさんがトランジスタの数値を記入した回路全図である。少しずつ近寄ってみると、写真DおよびEになる。たとえば写真Eまで拡大した部分の一部をさらに書き直したものが、図19-Aである。MOSトランジスタが六個使われている。ここで、すぐ左隣の図19-Bを見てほしい。これが、図19-Aの電気回路をマスク図形に翻訳したものである。これは部分的に過ぎないが、こうした図形が数メートル四方の面積いっぱいに描かれる。これをガラスに縮小転写したマスクを使って写真焼きつけを繰り返していく。こうしたシリコンチップに電気回路をつくり

A　デザイナー役に演技をつける嶋氏（左）

B　白い紙の窓から点検する

込んでいくのである。

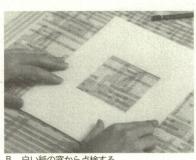



図19-Aのトランジスタのゲート電極につながる端子A・B・Cは、図19-Bのマスク図形では細長い矩形の上に描かれている。細長い矩形はシリコン表面に蒸着された金属膜であり、配線の役目を果たしている。これらの線の下にトランジスタが精密につくり込まれていて、それらを互いに金属膜がつなぎ合わせて、機能回路を構成しているのである。

マスク図形は、工程別に一枚ずつ必要である。たとえば、N型不純物拡散用マスク、P型不純物拡散用マスク、多結晶シリコン成長用マスク、アルミ配線用マスクなどである。現在のマイクロプロセッサー製造工程では、一五種類から一六種類のマスクが必要になっているが、「4004」のマスクは六枚であった。

マスクづくりの壮絶な作業

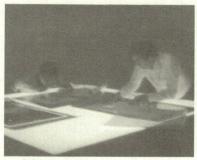
これは、口でいくら説明しても充分に伝えられるものではない。テレビ伝達の難しさがここにある。百聞は一見にしかずという諺の通り、私たちは、かつて嶋さんがインテル社で体験したことを再現してもらって撮影することにした。NHKの中のそれらしい部屋に、

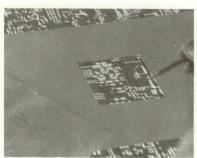
インテル社の作業部屋を復元した。マスク図形を描くデザイナーは、外国人タレントに演じてもらった。演技指導を嶋さんにお願いしたが、これが大変な情熱家で、うるさ型。写真Aの左が演技をつけている〝嶋監督〟であるが、鉛筆の持ち方一つにも注文をつけて、撮影は一向に進捗しない。何事も完璧主義者の〝監督〟に、我慢強いスタッフも、さすがに辟易(へきえき)。ファジンさんが激賞するだけのことはあると、妙に感心したものである。

テレビ屋の習性で、絵に映るところだけ正確に描いて、あとはそれらしければいいと私たちは考えたが、〝嶋監督〟はそうした安易な考え方を許さない。なんと彼は、自分で本物通りのマスク原図を完全に復元してしまったのである。その大きさが約三メートル四方、実物の二〇〇倍である。

これを光学的に縮小して実際のマスクをつくるのだが、写真縮小をする前に、あらゆる角度から点検する。これを論理設計図や電子回路図と照合し、誤りをチェックし、訂正箇所を洗いあげていく。次に、工程ごとのマスクパターンを、今度は半導体の製造ルールに合っているかどうか調べる。線の太さ、線と線の間隔、工程別マスク同士の位置合わせなどである。原図の線と線の間隔が、五ミリから七ミリ。三メートル四方にその間隔で線がびっしり詰まっているが、それを隅から隅まで、穴を開けた白い紙の窓から神経を集中させて点検する。その復元写真が、前ページの写真Bである。

この作業を反復していくうちに、間違い部分が減っていき、やがて連続二回にわたって「間違いなし」とわかった時点で、作業が完了する。

訂正が終わると、それを拡散から配線まで六つの工程別に色分けしていく。色分けされた原図の上にルビーという真紅のプラスチックフィルムを重ね、下敷きの線通りに人間がカッターで切っていく。不要な部分を剝(は)がして捨てると、下敷きの原図そっくりの、透明で真紅の図形ができ上がる。これを

E　完成ルビーの点検

C　ルビー・フィルムの切り出し

F　四角い窓枠を使っての点検・確認作業

D　光源台の上の完成ルビー

写真乾板に縮小転写して、ガラスのマスクをつくるのである。

原図を下敷きにしてルビーフィルムを切り出しているのが写真C。これは、インテル社一六年周記念誌に掲載されていた実際の写真である。光源台に載せた完成ルビーが、写真Dである。ただし、これは復元写真。さすがの嶋さんもルビーの切り出しにだけは手を出そうとしなかった。原図に基づいて実物そっくりのプラスチックフィルムをつくってくれたのは、NHKアートの藤田惣一郎さんであった。電卓の復元などで、しばしば絶妙な仕事で私たちをアッと

言わせてくれたが、このときも、模造ルビーのあまりのできのよさに嶋さんが感嘆の声をあげたほどである。

さて、この完成ルビーもその一枚一枚について、復元写真Eのように、再び原図と照合して不良箇所を洗い出し、修正する。線の幅、配線の位置、すべて肉眼で隅から隅まで確認していくのである。この作業も、復元写真Fのように、四角い窓枠を使って行ったが、神経の磨り減る重労働であった。これも「連続二度にわたって間違いなし」に至るまで点検を反復する。

ファジン　カッティングができるとチェックを始め、終わるまでには何日間もかかるんです。いったん取りかかると一気に連続一二時間ほどは続きますから、目は充血して真っ赤になるし、頭はボーッとする。

嶋　これも穴の開いた紙でやるんですが、今度は原図より小さくなっていますから、線間隔が〇・五ミリで密集していますので、神経がまいるんです。二回連続して誤りがないという結論に達したらOKにするんですが、それでも、四人から五人で手分けして、二週間は目いっぱいかかるんです。それで、点検が終わると必ず一人は倒れる。それも作業終了後に疲れて寝込むといった呑気な話ではなくて、最後のOKが出たとたんに、文字通り失神する人が出るんです。それほど壮絶な作業なんですね。ですから昔は、一つのチップができるまでに胃を切り取るはめになる技術者が結構多かったんですね。

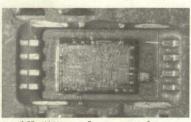
初のマイクロプロセッサー駆動

「4001」「4002」「4003」「4004」と四個のLSIの設計が終わった直後、一九七〇年の一二月に、嶋正利さんは帰国した。何よりもまず、ROMに格納する応用ソフトを完成させなければいけなかったからであった。「4004」を中心とするシステムを何種類もの装置として売るためには、そのためのソフトを開発する必要があった。ビジコンではこのシステムを利用して数機種の科学計算用電卓から金銭登録機や会計機などさまざまな商品を製造したいと考えていた。そのためには、各商品のためにプログラムを開発しなければならなかったが、それは、嶋正利さんの仕事であった。

そうしたソフトの開発とは別に、ハードのほうも準備をしておく必要があった。やがて届くチップを試験する装置である。「4004」をソケットに挿入すれば、直ちに電卓として動作するエミュレーション装置（実物と同じ回路を別の部品で組み立てた試験装置）を、バラック造りでつくっておく必要があった。実際にソフトを組んでみて、それでマイクロプロセッサーを動かしてみるしかテストの方法がなかった。そんなわけで、電卓として駆動させてみるテストは、見本を日本に送ってもらって日本で行うことになったのである。

嶋正利さんが帰国したあとは、フェデリコ・ファジンがLSI化に専心した。工場では、六枚のルビーをそれぞれ二〇〇分の一に縮小して写真乾板に焼きつけると、六枚の実寸大ガラスマスクができ上がる。これを、工程に合わせて次々と使っては、シリコン表面に回路がつくり込まれていった。

こうして、世界初のマイクロプロセッサー「4004」が誕生した。縦三ミリ横四ミリのシリコンチップ。そこにつくり込まれた二三〇〇個のトランジスタと総延長数メートルもの配線。それがコン

C　シリコンチップの余白に焼き込まれた文字

A　容器に格納された「4004」のチップ

D　毛髪と配線との大きさの比較

B　接写したシリコンチップ

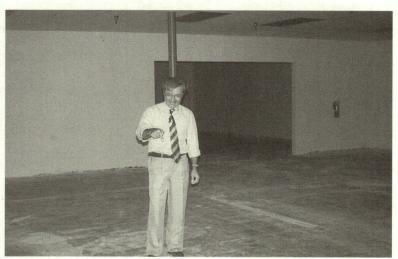
ピューターの処理装置として働くのである。シリコンチップに載ったコンピューターの頭脳部分CPU（中央処理装置）の登場であった。

写真Aは、容器に格納された「4004」のチップである。周辺にムカデ状の脚が見えており、中央部のリードフレームにシリコンチップが載っている。シリコンチップだけを接写したのが写真Bで、その周辺の余白には、写真Cのように、「INTEL」「4004」「FF」の文字が焼き込んである。「FF」は、フェデリコ・ファジンのイニシャルである。写真Dの真ん中を縦断しているのが、女性の毛髪である。太さ〇・〇六ミリの髪の毛の下に無数のトランジスタや配線が隠れてしまうほど、回路は微細である。

このチップを工場から受け取ったファジン氏は、さっそくテストに取りかかった。ちなみに、「4004」をLSIにつくり込むプロセスは、オフィスの裏手にしつらえられていたクリーン

試験室に立つファジン氏

ルームで処理された。そこが現在ガレージになっているのは、先に見た通りである。クリーンルームで完成したウエハーを、今度はオフィスの隣にある試験室に持ってきてテストをしたのである。

ファジンさんは、上の写真のように、かつてさまざまなテスト機器が並んでいた試験室の跡に立って、当時を回想してくれた。それがファジン流の弁舌であったのは言うまでもない。

ファジン　「4004」のウエハーが最初に上がってきたときにテストしたのが、この場所でした。当時は、テストする施設がここにあったのです。あれは、夜中のことでした。ウエハーがその日の終わり頃になって上がってきたものですから、テストは夜半から明け方までかかりました。寝たのは、朝の四時か五時だったと思います。

――どなたかと一緒でしたか。

ファジン　私ひとりでした。最初、私はとても緊張していました。結果を見てみるためにまず電源をつなぎ、プローバ（探針）の下にウエハーを入れました。その瞬間、私の手はブルブル震え、体もガタガタ身震いしていました。

――テストはどうやって？

ファジン　事前にテスト・プログラムを組んでおいて、それをプローバにつないで、オシロスコープで逐次見ていったんです。まだ専用のテスターなどありませんでしたから。

――それで結果は？

ファジン　思いのほか順調で、一発で作動したんです。機能するとわかった瞬間、本当に興奮しました。チップの別の部分もテストしてみて、うまく動いているということがわかりました。機能不全で不都合な部分もありましたが、原因がすぐにわかり、大部分はうまくいっていましたので、さほど心配はしませんでした。不都合部分について検討を始めましたけれども、夜が明けるまでには大体見当がつきました。すべて終わった瞬間、心地よい疲れが全身を覆い、精神が高揚し幸福の絶頂に浸りました。

――何を考えましたか。

ファジン　私はね、一八歳のときイタリアのオリベッティ社で小さなコンピューターの設計をやりました。物理学の博士号をとるために、大学に復学する前のことです。そのとき以来、私はずーっと小さなコンピューターをつくりたいと思い続けてきました。それが今自分の手で実現し、目の前にあったのです。それは私にとっては、身も震えるほどの感動の一瞬

でした。しかし、それが他人にとっても、やがて大事なことになろうとは気づきませんでした。そして、まさか現在のように世界を動かすことになろうとは夢にも思わなかったのです。

――ロバート・ノイスやゴードン・ムーアさんたちの反応は、どうだったんですか。

ファジン　彼らは私のやっていることなどには、ほとんど何の関心もないようでした。彼らはメモリーのほうに忙しくて、私は放っておかれたんです。インテル社としてはマイクロプロセッサーなど主流の仕事じゃありませんでしたから。かりに失敗したとしても、どうと言うことはなかったのです。彼らが何も知らないうちに、私がマイクロプロセッサーを完成させてしまったわけですから、私にとっては、放っておかれたことが逆に好都合という面もあったのです。

通産省・税関との折衝難航

その頃東京では、深刻な問題に直面していた。「4004」をはじめとする四種類のLSIチップを輸入するためには、通産省の許可が必要であった。その許可がなければ、インテル社が開発製造したLSIを国内に入れることができなかったのである。手続きいっさいを担当したビジコン社の常務であった柏崎登志雄さんは、通産省に日参した。なお、柏崎さんは現在、電子機器会社サンディック社の代表取締役である。

柏崎　当時は、超LSIを外国から輸入しようとすると、通産省の許可が必要でした。半導体製

柏崎登志雄氏

品は、輸入許可制度になっていたからです。それで私たちは、許可をもらうべくいろいろ折衝したんですが、通産省の電子工業課の松川係長が窓口だったんで、それは毎日のように日参しましてお願いしました。とにかくインテル社とは契約は済まして、仕事がどんどん進んでいましたから、できた製品をこちらに引き取りたい。そうしないと国際上の問題にもなるわけですから。それで何とか許可をしてほしいとお願いしたんですが、「外国の半導体製品を輸入することは、国産品を育成するという観点からすると由々しき問題である。したがって製品の輸入は、まかりならない。これは通産省の方針である。いや国家の政策なんだ」と言うんですね。

――不許可というわけですね。

柏崎　はい。外国の進んだ技術でつくった半導体製品が日本に流入するのを阻止するのが、自分たちの役割で、自分たちが阻止している間に国産メーカーに技術を身につけさせて競争力を高めるのだと言うんですね。

――松川係長が？

柏崎　はい。そんなことを言われたら私たちは倒産してしまうから、それは粘りましてね、そこを何とかと頼んだんです。「私たちとインテル社の間ではすでに契約が成立し、仕事が現に進んでいるんです」と申し上げましたら、松川係長は「契約はご自由です。ただ通産省としましては許可はできません。しかし、私どもとしまして契約をやめろと申し上げる権限

はありません。どうぞ好きなだけご契約ください」と、慇懃無礼でにべもないんです。

――何ですか、その言いぐさは。

柏崎　「知ったことじゃない」、です。「通産省としては」、ということですね。それでも私たちはこみ上げてくる怒りを抑えて、「これではわが社は倒産しか道がない」と平伏懇願したんです。すると松川係長は「ああ、そうですか、倒産なさったらいかがですか、通産省としましては中小企業の一つや二つ潰れてもかまいません。それで日本の半導体企業の育成に少しでも役立てば」と言うんですね。

――許可をもらうのに都合、何回通ったんですか。

柏崎　最低二〇回は通ったと思います。

――えっ、二〇回！

柏崎　いや、三〇回だったかもしれません。

何よりもまず、契約通りに六万六〇〇〇ドルの開発費をインテルにドル社で送金しなければいけないのだが、それには外貨の割当てを受けなければならない。外貨の割当ては、通産省の輸入許可がなければ大蔵省が許可しない。その申請と許可に、柏崎常務は日銀と大蔵省と通産省に通いつめた。同じ外貨による支払いでも、何の対価として支払うのかによって担当セクションが異なった。思いも及ばぬさまざまな理由で、毎日のように官庁を飛び回ったのである。

最も重要なチップであるCPUの「4004」が航空便で羽田に届いたのは、一九七一年（昭和四六年）の三月だった。しかし、当時は通産省の外国製半導体製品の輸入制限が非常に厳しく、実際に通関審査を受けることができたのは、ひと月遅れの四月に入ってからであった。

四月のある日、通関業者から悲鳴の電話が入った。「CPUとは一体何か」と税関が首をかしげているというのである。嶋さんが羽田空港に駆けつけてみると、大きな段ボールの箱には、四個の小さなLSIチップが格納されていた。送り状の品名が「CPU」。

嶋　税関の役人が「CPUって何だ、説明をしろ」って言うんですね。私が「これはコンピューターの働きをするもんです」と説明するんですが、相手は「指でつまめるほど小さな物がなんでコンピューターなんだ、馬鹿にするな」と言って納得してくれないんですね、税関が。

——アハハハ。

嶋　コンピューターというのは大きな装置だという先入観がありますから、「こんな小さなチップが同じ働きをするなど信じられない、おまえは嘘を言っているんだろう」と言い張るんですね。「ロジックを搭載した普通のチップです」くらいに言っとけば問題は起きなかったんでしょうが、私にも誇らしい気持ちもあって「これが世界で初めてのワンチップ・コンピューターなんだ」とやっちゃった。だから事態が紛糾しちゃったってところがあるんです。結局、説得に四日かかりました。毎日羽田に日参したんですが、行くたびに偉い人が出てきて、小さいチップを前に説明させられました。

やっと通関審査をパスした「4004」は、嶋さんの手で東京・神田にあるビジコン本社に運ばれた。そこには、ROMエミュレーション装置ができていた。実物と同じ装置をまったく別の部品で組み立てた「等価回路」であった。「4004」を差し込めば、装置が電卓として働くことになっていた。逆に言えば、装置が正常に働かなければ「4004」の動作不良、ということになる。

エミュレーション装置の駆動実験

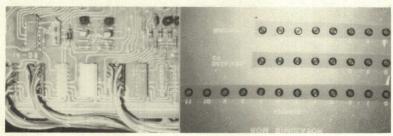
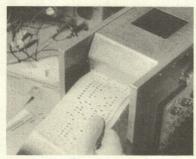
次ページの写真Aは、これまた嶋さんがビジコン社時代の仲間であるミライシステム社の社長、奥田真寿雄さんたちの協力を得て寸分の違いもなく復元したエミュレーション装置一式である。単にみせかけのドンガラではなくて、数多くのICを駆使して組み立てた実働機である。

写真左端から、キーボードとプリンター①、それを駆動する処理装置②、表示装置③の裏側には市販の汎用型ICでつくったROMエミュレータがついている。電卓用のプログラムをパンチした厚紙カードを、④のカードリーダーに通すと、カードのプログラムがROMエミュレータに転写される。そこで、エミュレータがプログラム格納済みのROMチップと同じ働きをするというわけである。カードは、二進数コードで組んだ命令を「穴の〝ある〟〝なし〟」で記憶させてある。そして、穴の〝ある〟〝なし〟を読み取る装置が、④カードリーダーである。

写真Bの左が、制御装置に差し込まれたCPUの「4004」。右が、表示装置の点滅ランプ。写真Cは、システムを電卓として動かすための命令を穴で記憶させているパンチカード。写真Dは、それらのROMカードの穴情報を光の透過で読み取らせるカードリーダー。これで「穴の〝ある〟〝なし〟」が「電気信号の〝ある〟〝なし〟」に変換され、ROMエミュレータに送られる。

このシステムでは、キーボードもプリンターもプログラムで駆動するのが特徴だったので、キーボード制御のパンチカード、プリンター制御のパンチカードも必要であった。一行一命令にしてカードに穴を開けてあるが、このシステムの場合は、命令ののべ数にして一〇〇〇行、カードの枚数にして二四枚になった。命令群を「0」と「1」の連鎖でコード化して、手描きにしたリストを、カッター

嶋 正利氏

A　エミュレーション装置(①キーボードとプリンター, ②処理装置, ③表示装置, ④カードリーダー)

B　ＣＰＵの「4004」

D　カードリーダー

C　パンチカード

「火入れ」試験の再現

ナイフでカード一枚一枚に四角く小さな穴を開けてつくった。

　最初に簡単な駆動試験は、単純な命令だけを読ませて動かしてみることにした。それが無事成功したら、今度はキーボードやプリンターのソフトをカードリーダーに読ませ、その動作を確認したうえ、電卓のソフトを読ませてシステムを電卓として動かしてみるのである。

　こうした試験を「火入れ」と呼ぶのだそうだが、小さな石の中に閉じ込めた装置が本当に意図通りに働くかどうか、長い間注ぎ込んだ努力の結果がこれから瞬時に出るのである。これも当時をそっくり再現して、映像に記録することにした。綿密な取材に基づいて再現の手順を立案し、万事を手配し、事柄の細部まで忠実に復元してくれたのは、まだ入社三年目の伊藤真ディレクターであった。

　そして、昔のビジコン社の技術陣を演じてくれたのは装置の復元に尽力してくれたミライシ

ステム社の皆さんであった。カメラマンは古い雰囲気をかもし出すために白黒の一六ミリフィルムで撮影することにした。それが、前ページの写真である。

ところが、この撮影を終わっても撮影監督の嶋さんが、感慨にふけって机を離れようとしない。すでに嶋さんのインタビューは筑波学園都市にある彼のオフィスで終わっていた。しかし、当時をそっくり復元した環境のなかでは、嶋さんの話はオフィスで聞いたときよりも数倍は活力に満ちていた。

さっそく、監督変じて主演俳優に戻ってもらうことにした。

嶋　まずはこうやって、システムの各部分同士を線でつなぐんです。

——はい。

嶋　準備に二時間から三時間かかるんですよ。たとえばコネクターのピンが合わないとか、いろいろ小さなトラブルが起きますからね。そして準備が整いはじめる頃になると人が次第に集まってくるんです。

——かたずをのんで見守るわけですね。

嶋　そうです。人垣の中でやりますから余計、手が震えるんですね、緊張して。

——おや、嶋さん手が震えていますね。

嶋　えっ、いや、これはカメラの前なんで緊張しているんです。

——呼吸が乱れてきたりして。

嶋　もう胸がドキドキ、ドキドキ。鼓動が聞こえてくるぐらいなんです。もう頭がカーッとしましてね。あまり声をかけてもらいたくない。これがトランジスタラジオだったらスイッチがついていますから、スイッチを入れた瞬間に音が出て、正常かどうかがすぐにわかり

リセットボタンとそれを押す嶋氏

ますね。ところがマイクロプロセッサーにはスイッチも何もない、ただの石ですから、プログラムを入れて命令を実行させることで初めて、動いたかどうかわかるんですね。ですから周囲の人は、動くのかな、動かないのかな、自分で動かしたいんだけども自分では動かせない。ひたすら、操作する人の手を見つめて、身じろぎしないでジーッと待つんですよ。それはもう、プレッシャーなんていうもんじゃない。それこそ緊張のあまり卒倒しそうになるぐらい息がつまるものです。そしてね、成功したときはいいんですが、失敗するとね、一人二人と減ってね、ひょいと後ろを見るとだーれもいないんですね。その惨めさ、孤独さはたとえようもないですよ。ところが成功するとね、最初は五人とか六人だった人の輪が三〇人、四〇人、場合によってはその日に出社している人たち全員が集まって、部屋がいっぱいになるんですよ。

メインスイッチを倒して、ONにする。異常があればこの時点で電流計が規定値を超えるのだが、これは合格。電流計は、所定の位置でぴたりと停止した。さて、いよいよ心臓部のマイクロプロセッサーを動かしてみることになる。リセットボタンを押して、マイク

ロプロセッサーをスタート直前の状態にする。指を離すと、マイクロプロセッサーが動きはじめる。

嶋　さて、いよいよ非常に簡単な命令を使って、CPU（中央演算装置）であるマイクロプロセッサーが生きてるかどうかを調べたい。そこで非常に簡単なプログラムを入れてみよう、と。ソロバンで言えば「ご破算で願いましては」というように、CPUをクリアにして始動状態におく。それをリセットというんですが、要は、リセットボタンを押すわけです。これを離せばCPUが動きだし、命令を待つ状態になる。

――じゃあ、リセットボタンをどうぞ。

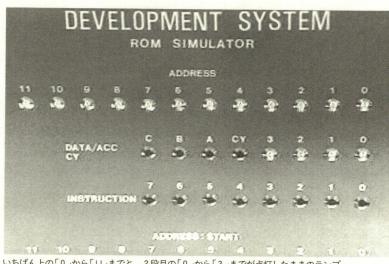
嶋　これをこう押すわけです。押すと一二ビットのアドレスバスが解放され、システムがフローティング状態になる。次に、四ビットのシステムバスもフローティング状態になる。それは表示用のランプが全部ライト点灯することでわかる。ランプがいったん全部が点灯したことを確認して、さあいよいよ、リセットボタンを離す。

――どうなれば正常なんですか。

嶋　ここに並んでいるランプのある部分だけがチカチカと点滅する。つまり、関係するアドレスの部分だけが働いているというのが正常な状態なんですね。

前ページの写真のように、嶋さんが押しているスイッチがリセットボタンである。指を離すと同じパネルの上部に並んでいるランプが点滅を開始する。ランプの点滅状態でマイクロプロセッサーが正常に働いているかどうかが、およそ判定できるのだという。

――暴走したときって、どういう感じになるんですか。

嶋　暴走したときに二つのケースがありまして、一つのケースがこれです。やってみましょう。

いちばん上の「0」から「11」までと、2段目の「0」から「3」までが点灯したままのランプ

リセットボタンを押して、それを離す。すると全部のランプが点滅しながら走っている。ほら、こんな具合にね。

ランプが左から右に点滅しながら動いて見える。それはちょうど盛り場のパチンコ屋の電飾ランプが走っているのと同じ感じである。

――なるほど。盛り場の電飾のように全部点滅しながら走っていますね。

嶋　単にランプが点灯しているだけじゃなくて、非常に規則正しくパカパカと点滅している。これが大事なんですね。これなら、プログラムをいろいろ変えることによって、不具合の原因を探していくことができるんですね。

――じゃあ、まだ望みはあるんですか。

嶋　大ありです。これを解釈しますと、命令をメモリーから読んできて何か

実行しているんだけれども実行がうまくいってなくて、アドレスが次から次に更新していってては、また戻ってくる。ランプがパチンコ屋の点滅看板のように走っているのは、そういうわけなんですね。ですから、規則性のある間違いをしているに違いない。ですから、同じ暴走でも、これはまだ筋のいい暴走……。これですとまだ、観客の二人や三人は残ってくれるんですよ。

——じゃあ、筋の悪い暴走ってのがあるんですか。

嶋　はいはい。筋の悪い暴走というのは、こういう規則性のないやつですね。

——たとえば？

嶋　最も質(たち)の悪い暴走というのをお見せしましょう。こうです。リセットボタンを押して、CPUをクリアしてスタートさせますね。そこでリセットボタンを離す。ところが、ボタンを離してもスタートをしない。CPUが完全にロックされたままで、まったくスタートしない。

——あれまあ、本当だ。

前ページの写真に写っているランプは、いちばん上の「0」から「11」までと二段目の「0」から「3」までが点灯したきり、点滅もしないし横に走りもしない。ランプの列が光ったきり、微動だにしないのである。

嶋　ほれ、ランプが全部点灯したまま。

——要するに、ランプが点灯したきりで点滅もなし。

嶋　そうです。リセットを押しますね。これでCPUをクリアして、本来なら指を離せば動く。

ところが、指をボタンから離しても何も起きない。ロックされたままで、リセット状態から抜け出さない。死んだ状態になるわけです。回路が死んでるかもしれないし、あるいは、いちばん基本的な論理が動作してないのかもしれない。こうなるともう手がつけられないんですね。死んでるものをどうやって調べようかと。どこから手をつけていいかわからない。ひょっとしたら論理回路に欠陥があるのではないか。あるいは電気回路か。あるいはマスクパターンに欠陥があるのか。半導体プロセスのどこかにトラブルがあったか。そうなると、顕微鏡を使ってシリコンチップの表面に載っている微細で膨大な回路を端から当たっていくことになる。それは身の毛もよだつ〝電子地獄〟。

びくともしないランプの行列をじーっと見つめながら、嶋さんの気持ちは高ぶってくるようであった。嶋さんの人差し指は、相変わらずリセットボタンを押したままである。

嶋　「4004」のあと、私は、インテル社で「8080」の開発を手がけたんですが、そのときの体験は今でも忘れることができません。

——ほう。

嶋　最初はウエハーの状態で調べるわけです。ウエハーを測定機にセットして、回路が動くかどうかを調べるんです。それで顕微鏡の下にウエハーを置いて針を立てて測定器につなぐんですが、無言の壁がじーっと私を取り囲んで、かたずをのんで見守っている。やがて四個、五個とやっても動くのに当たらないとわかると、一人二人と去っていく。焦って探すんですが、びくともしない。

——相当に恥をかきますね。

嶋　そうです。この状態になりますと、周りにはもう人っ子一人いないですね。孤独ですよ。ですから、マイコンというのは成功すれば王様ですね。もう「天才だ、秀才だ、すばらしい仕事をした、次も期待してるよ」となりますけどね。失敗すれば、だれ一人見向きもしないで、すうーっと潮が引くように人がいなくなるわけです。慰めの言葉を発するでもなく、何事もなかったように人が一人もいなくなる。絶望。孤独。あせり。言いようのない悲しみが込み上げてくるんです。天国と地獄。

――ずいぶん実感がこもっていますが、そんなご経験があるんですか。

嶋　ええ。八ビットのマイクロプロセッサーを最初につくったときに、やはりこういう状態になったんです。インテル社でのことでしたがね。当時は私は、あまり半導体のことに詳しくない人間だということで、半導体プロセスの人たちからは「おまえが組んだ論理回路に欠陥があるのだろう」とか「電子回路がまずいのだろう」とか言われて青くなったんです。世界に冠たるインテル社が半導体プロセスで過ちを犯すはずがないんだから、チップが動かないのは私の論理に誤りがあるのだと決めつけられたんです。

――どこが悪いのか、判明したんですか。

嶋　はい。半導体プロセスに誤りがあったんです。

――論理回路や電子回路ではなかったんですね。

嶋　ええ、私のミスじゃなかったんです。

並みの神経では論理設計は無理

彼がアメリカの社会で仕事をするようになって、いちばん心がけたことの一つが、説得のある話し方であったという。どんなに優れたアイディアを思いついても、それを実現するには他人を説き伏せて同意させなければならない。特に企業のなかでは自分のアイディアを採用させるかどうかで人生が変わる。一つの話をどこから切り出して、どのような順序で構築していくか。また、だれもが胸打つエピソードを、どのような場面に挿入するか。わかりやすく、だれもが納得する写真や図表をいかに効果的に使うか。

そして、話のクライマックスをどのように盛り上げ、余韻をどうやって残すか。

嶋青年は、アメリカ生活を通じて徹底的に努力したようである。

リセットボタンを指で押さえたまま、嶋さんの話がいよいよクライマックスに近づいていく。

嶋　開発というものは、自分を信ずることなんですよ。自分の考え方が合っている。絶対間違いないと。だから、この機能をこういう設計の方式でこういう具合に具体的にインプリメンテーション（具現化）して、こんな具合に実際に検証すれば絶対大丈夫だと、こう思うんですよ。もう信じるんですね、自分の考え方、やり方、自分がやったことを。やがて当然のことながら、設計を終えてプロセスに入れるわけです。その試作製造工程に入ってからでき上がってくるのに大体一、二か月。もうその間は毎日が不安の連続です。あそこの論理は大丈夫だろうかなと思い出すと、もう居ても立ってもいられなくなるんです。でも図面は自宅には持って帰れませんから、深夜だろうと明け方だろうと会社に行くわけです。

で、ロジックを見て、ああ大丈夫だと。そんな不安感がいつもいつもつきまとって、頭から離れることがないんです。そういうことが頻繁に起きるんです。それが二か月間ずーっと続くんですね。

――毎日ですか。

嶋　毎日。朝、昼、晩。それから寝てても。

――頭が何かで塞がっている?

嶋　論理のことで、いっぱいなんですね。もしかしたらバグ(虫食い)があるんじゃないかという恐怖感ですね。設計ミスを犯したんじゃないだろうかと、不安いっぱい。これが他の装置ですと、実際に組み立ててみるとすぐわかる。ところが、LSIというのは、中身ができ上がってくるまでは調べられない。

――石の中だからですか。

嶋　石の中だから。

もう、三〇分は嶋さんの指がリセットボタンにかかったままである。ご自分の思いを述べることに熱中していて、指の疲れなど気にしていられないのかもしれない。しかし、こちらはいつまでも待てない。もう、このくだりだけでVTRのテープが二本目に入っている。

嶋　「4004」のときは、設計を終わってインテル社から日本に帰国したのが、一九七〇年の一二月でした。設計が、インテル社の手でLSIのチップになるまで三か月かかりました。この三か月という期間は判決を待つ心境でして、夜は眠れないんですね。

――心配で。

嶋　はい。心配で心配で。そういう気持ちで待っていたチップですから、リセットボタンはなかなか離せない。あまりに思いが複雑でね。早く動かして結果を見たいという期待感。それともう一つは、結果を見たくないという不安感。その狭間（はざま）に立って、指が硬直してリセットボタンから離れない。心境は、複雑怪奇。「4004」に込めた青春の結果を、そう簡単には見たくない。

――でも、永久に押したままというわけにもいきませんよ。カメラマンだって我慢の限界がある。VTRテープだって間もなく切れてしまうんですから。

嶋　あなた、クールですね。じゃあ、しようがないから離すわけです（笑）。これで離します。はいッ！

リセットボタンから指が離れた。今度はランプが点灯したきり動かないということもなく、ランプが一斉に走り出すこともなかった。表示ランプの部分部分がチカチカと点滅を繰り返している。点滅するランプ群が、部分的にあちらに行ったり、こちらに来たりと忙しく動いている。言われてみると気のせいか、システムがいかにも律儀に働いているような感じがする。

――これは合格ですね、チカチカやってますよ。

嶋　はい、正常に動いています。これに感動するんですよ。われわれは。

――へえ、こんなことにですか？

嶋　今まで、私は四ビット、八ビット、一六ビット、三二ビット、いずれのマイクロプロセッサーもすべて開発したんですけど、このリセットボタンを押すときだけは怖いんです。

――はい、そのお話は今、充分聞きました。

嶋　私はまだ語り足りない。こんなちっぽけな石に、もてる能力のすべてを注ぎ込んでやってきた。一年、二年、三年と、あらゆるものを犠牲にしてできてきた石なんです。

——はい。

嶋　マイクロプロセッサーの開発というのは、用途も市場も明確にしてから開発を始める他の商品と非常に違うんですね。こんなマーケットが将来できるだろう、そのマーケットを狙ってこういう機能を入れよう。だからチップの性能はこうしよう。値段をこれだけに抑えるためには、チップの大きさをこうしなければならない。使う論理をこのように工夫しよう。常に、将来像を念頭に置きながら一つ一つを積み上げていくんです。それだけのことをやろうとすると、少なくて一年、普通で二年はかかる。その間、気分転換もままならない。遊べないんです。遊ぶと忘れてしまうから。たとえば土曜日とか日曜日に遊びますと、先週やっていた論理が三分の一ぐらいは頭から消えてしまう。

——へえ。

嶋　ですから、マイクロプロセッサーをつくるというのは、自分の身を少しずつ削っては子どもをつくっていくという、そういう感じですね。女の人が妊娠をして、一〇か月間おなかの中で子どもを育てて、最後は自分の体を傷つけながら産んでいきますね。それより、もっと苛酷かもしれない。

——へえ。

嶋　そうやってでき上がってきたマイクロプロセッサーですから、そう簡単にリセットボタンを押して、離して、ああ駄目だったと、そういうようなもんじゃないんですよ。自分の子

どもが生まれて、ああ駄目だった、捨てちゃえ、と言えますか。言えないでしょう。二年も三年もかけてつくってきたものを、最後にこの世に産み出す瞬間がリセットボタンを離すということなんですね。いろいろの感情が、すべてこのリセットボタンに込められているんですよ。ですから、もう動いたときは本当に心の底から嬉しい。

——動くだけで？

嶋　動くだけで。これがチカチカと、これが動いてるだけでもう感激ですね。

——そんなもんですか。

嶋　ええ。すごい感激ですよ。

"石の中のコンピューター"始動

中央処理装置（CPU）を搭載した「4004」は、見事に走りだした。当時はこの瞬間、周りから「どんどん行ってみよう」と声が上がったという。嶋さんは次々と、パンチカードでプログラムを読ませることにした。キーボードを動かすためのソフトプログラム、次いでプリンターを駆動するソフトプログラム。最後に、一六桁の計算用ソフトを入力した。パンチカード一二枚、命令数のべ一〇〇〇行が読み込まれた。

——これから、計算ですか。

嶋　これから、計算。これで、計算した結果がプリンターに出てくるわけです。

——お願いします。

嶋　これで、いちばん最初に数字ボタンを押してみる「1、2、3」と。

――「1、2、3」と押したのに、何も変化なし。

嶋　これで「＋」ボタンを押せば、プリンターが「1 2 3＋」と打ち出してくれるはずです。「＋」ボタンを押します。ハイッ。

プリンターが、ガチャガチャガチャガチャと数字を打ち出した。ロール紙には、まぎれもなく「1 2 3 ＋」と印字されている。電卓なら驚くこともないのだが、これはマイクロコンピューター・システムが働いて、「1 2 3」を打ち出したのである。キーボードとプリンターをプログラムで制御することで、プリンターが「1 2 3 ＋」と打ち出したのである。

――そうすると、本来はここで拍手……。

嶋　ここで拍手。よかったな、というわけ。観衆が「どんどん打ってみろよ」と言いだします。じゃあ、やってみるかと、「4、5、6、＋」。じゃあ結果を出すよ、と。おッ、「5 7 9」だ。出てきたねえ。よかったねえ、と。これでもう大拍手です。

――全員拍手？

嶋　拍手です。あとはもう、じゃあ掛け算をやってみようか、「2、×、3、＝」と。おッ、掛け算もできるじゃないか。じゃあ割り算をやってみよう。「3、÷、2、＝」、おッ、割り算もできるじゃないか。じゃあサブトータルでとってみようか。「1、＋、2、＋」、サブトータルで「3」。「4、＋、5、＋」でサブトータル「9」。グランドトータル「12」。おッ、これも動いてるじゃないか。

――もう夢中ですね。

ビジコン社のプリンターつき電卓。外観(左)とその内部(右)

嶋　そう、夢中。じゃあ、アメリカに売るためのドルのほうがうまくいくかどうか、やってみようか。一ドル二三セントと。おッ、小数点が自動的に出るじゃないか。では四ドル五六セントと。ほれ、ちゃんと行きますよ。もう、万々歳だ。これでアメリカのマーケットもとれるぞ。なーんて言っちゃったりして。こうなるとみんなが寄ってきて大賑い。

――嶋さんも、有頂天。

嶋　気持ちはもう天国に昇った気分ですね。自分が王様で世の中はすべて自分を中心に回っている、そういう感じになるわけです。

――動かなかったときと比べれば、地獄と天国ですね。

嶋　本当に天国に昇るような気分。もう本当に自慢したいですね。俺は今ソ

フトウェアで電卓を動かしているんだ。計算だけじゃないんだぞ。入出力の機器すべてをソフトウェアで動かしているんだぞ。このために俺は二年半もかけたんだとね。そして今、成功した。いくら自慢しても、し足りない感じがするんです。

ついに、〝石の中のコンピューター〟が動き始めた。テッド・ホフ、嶋正利、フェデリコ・ファジン、何人もの知恵と努力が四ミリ角のコンピューターに〝結晶〟した。嶋さんは著作の中で、こう書いている。——「心臓がぶるぶると震え、感動が電流のように全身を貫いた。ついに自分の組んだ論理回路が石の中で動き始めたのだ。しかし終わってみれば意外とあっけないマイクロプロセッサーの誕生であった。当時は自分がどのような役割を果したのかも知らず、ただただ夢中で青春のすべてを開発に注ぎ込んだのであった」。

ビジコン社はすぐに、このシステムを使ってさまざまな応用製品の製造に着手した。前ページの写真は、プリンターつき電卓である。プリント基板の下部中央に装着された白いチップが、CPUの「4004」である。基板のROMを変えることで、同じ電卓が伝票発行機にもキャッシュレジスターにも変身した。こうして、ビジコン社が当初考えていたストアード・プログラム方式の電卓が完成したのである。

第 章

資本主義から“技本主義”へ

初の国産マイクロプロセッサー

さて、ビジコン社が考えていたストアード・プログラム方式の電卓が完成したのとちょうど同じ頃、日本でもマイクロプロセッサーの開発が進んでいた。「電子立国日本の自叙伝」の放送第四回では、私たちは電卓戦争を中心に伝えたが、この取材中にシャープの人が「マイクロプロセッサーの開発は私のところでもやっていました」と教えてくれたのである、それが、日本のマイクロプロセッサー開発のエピソードを取材するきっかけであった。

マイクロプロセッサーの取材中、しばしば「私のところも同じことを考えていた」という話をあちこちで聞いた。しかし、よく聞いてみると、単にアイディアをもっていただけというケースが多かった。具体的な完成品を見せてほしいと頼むと、ないのである。したがって、シャープの話もその類だろうと思っていたら、広報マンが設計図から完成品まで実物を探し出してきた。彼は、自らも電卓開発に従事したこともあり、技術史に会社の名を刻むことに懸命であった。

その実物はあとでお目にかけることにして、シャープの仕様書と論理設計に基づいてＬＳＩにつくったのが、日本電気の鈴木宗一さんであった。現在は、マイクロコンピューター事業部の部長代理であるが、当時は、山梨大学工学部電気工学科修士課程修了後、昭和四四年に入社して三年目のエンジニアであった。

鈴木　あれは、一九七〇年の後半から七一年にかけてのことだったと思うんですが、いろんな分野で超小型のコンピューターを使いたいという話があったんです。たとえば、コンピューターの端末に超小型コンピューターを装着したい。当時、表示装置はブラウン管で、入力

鈴木宗一氏

装置がキーボードでした。そうした入出力装置をもう少し利口にしたいので、そこに、超小型コンピューターを使いたいという話でした。でも、それらの話はすぐには実現しませんでした。

――なるほど。

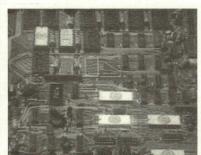
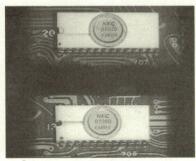
鈴木　そのあとのことですが、携帯用のPOS端末をつくってほしいという注文をコカコーラがシャープに出して、シャープからLSI化を私どものところにもち込まれました。

――正確には、いつのことでしたか。

鈴木　一九七一年（昭和四六年）の初め頃に話がありまして、五人で開発チームを組みまして、翌年の三月頃にシャープに納めたように記憶しています。だから、設計から完成まで一年ちょっとかかりました。私が入社して三年目のことでした。

POS端末というのはPoint Of Salesの略語で、『現代用語の基礎知識』によれば、「販売時点情報管理システムで、小売店舗など売り場のレジスターを本社などのホストコンピューターと結ぶことによって、販売時点に入力したデータを基にして、伝票整理・帳簿計算などをし、売上管理や在庫管理や商品管理を行うシステム」であるという。

新幹線の車掌に乗車券の変更を頼むと、彼は弁当箱のような道具を取り出して、キーボードを叩いて、経路を変更した乗車券を発行してくれるが、それもPOS端末の一種だそうである。車掌は〝弁当箱〟を本社に持ち帰り、ホストコンピューターにつなぐと、さまざまな計算事務をコンピューター

C　帰社したらカセットテープを取り出して窓口に渡す

D　「ビルペット」のプリント基板

E　「ビルペット」のＣＰＵ（拡大）

A　売場のレジスターを端末にできる

B　携帯型伝票処理器「ビルペット」

が自動的に処理してくれるのである。

写真Aは、日本コカコーラの経営陣で採用したPOS端末の使用風景である。コカコーラの配達係が使っているのが、写真Bのような、マスコットネームが「ビルペット」という携帯型伝票処理器である。配達係はビルペットを常時携帯し、配達先で数量と単価をキーボードで入力する。あとは、営業所に帰ってきたら、写真Cのように、カセットテープを取り出して本社窓口に渡せばよい。以後の事務処理は、本社のホストコンピューターが迅速正確にこなしていく。

こうした一種の超小型の携帯コンピューターをつくってほしいという話が、昭和四五年に日本コカコーラ社からシャープにもち込まれた。シャープはさっそく仕様書と論理設計図を描いて、日本電気にLSI化を依頼した。写真Dが、ビルペットのプリント基板である。八個の白いチップがRAMとROMとCPUであるが、CPUは、中央部に装着された二個である。そのクローズアップが、写真Eである。四ビットの演算回路を一チップに載せるには、半導体プロセスに自信がなかった。そこで、安全の幅をとって二チップに分けたというのである。これこそ「4004」に遅れること九か月で登場した、国産初の二チップのマイクロプロセッサーであった。

ちょうど、ビルペットのCPUを開発中にインテル社の「4004」が発表された。インテル社の「4004」の発表が一九七一年の一二月。ビルペットの完成が翌一九七二年の三月、およそ四か月遅れであった。

鈴木　インテル社が「4004」を発表したのは、一九七一年の一二月だったと記憶していますが、その年の初め頃から私たちは、シャープと一緒にPOS端末の開発をしていました。インテル社の発表は、POS端末がようやく完成に近づいた頃でした。同じようなものを

やってましたので、先を越されたなという感じはしましたけれども、正直言って、ものすごいものが登場したなという感じはありませんでした。

——なんだ、似たようなことをやっていると？

鈴木　そう。こんなものが本当に商売になるのかな、と。なら、わが社も本気でやってもいいんじゃないかなと思いました。特に当時の上司がそう考えて、私たちも本格的なマイクロプロセッサーを手がけることになりました。それが「ミューコム4」です。コカコーラのために設計製造したPOS端末用のLSIは、二チップ構成だったものをワンチップにして、仕様も「4004」を超える性能にしようと努力しました。

二チップからワンチップへ

「4004」の登場を知って日本電気は、すぐに二チップをワンチップにつくり直した。これが本格的国産マイクロプロセッサー。次ページの写真のような、「ミューコム4」であった。技術的には、さまざまな点で「4004」を凌駕しようと努力した。「4004」のクロック信号が七五〇キロヘルツだったものを、「ミューコム4」では三倍の二メガヘルツに高めて、動作スピードを三倍に速めた。二メガヘルツが実現すると、今度はLSIの反応速度がネックになるので、これをP-MOSのLSIからN-MOSのLSIに変えた。

Nチャンネル MOS搭載のLSIは当時としては量産が非常に困難だったが、「4004を追い越せ」を合言葉に、ついに困難を克服して「4004」に勝るとも劣らないワンチップの四ビットの国産マ

ミューコム4

イクロプロセッサーを完成させたのである。ここでも、いったん方向が定まると、たちまち本家に追いつき追い越してしまう、日本的技術の典型を見るような思いがする。

鈴木　私どもが開発した本格的なマイクロプロセッサーは、「ミューコム4」という四ビットでした。これは小さくてもコンピューターでしたから、ソフトウェアというものが非常に大事になってきました。ハードウェアとソフトウェアの両方が絡んでいますから、トラブル追及も、その両方を考えなければいけなくなりました。特にソフトに欠陥がある場合、それをバグと言いますが、不具合の原因がハードウェアの不具合なのかソフトウェアの不具合なのかがわからないから、両方やらなきゃいけなくなったんです。

――なるほど。

鈴木　ソフトウェアが絡んできますから、私たち半導体屋のほうも、それまでのように、ただLSIだけをつくって売れればいいという話ではなくなってきた。ハードウェアと並行して、ソフトウェアも開発していかなくてはならなくなりました。ですから、私たちもコンピューターソフトの勉強をしました。

――どうやって勉強なさったんですか。

鈴木　当時の半導体グループには、コンピューターの専門家はいませんでした。ですから、PO

S端末に取り組むことになってコンピューターの基礎から勉強し直したんですが、やってみるとこんなおもしろいことはなかった。

――だれに手ほどきを受けたんですか。

鈴木　NECには大規模なコンピューターの開発グループがありましたから、先生にはまったく不自由しませんでした。先生は、ハード面もソフト面も、よりどりみどりでした。逆に彼らが半導体の勉強をするときは、私たちが先生になるわけですから。とにかく新しいことを勉強できるというので、まことに刺激的で、熱中しました。

日本電気は「ミューコム4」を開発してはみたものの、当時はそれを使ってくれる顧客がいなかった。バラックづくりのプリント基板にLSIチップのソケットを取りつけ、「ミューコム4」を差し込めばマイコンとして働くパネルを自作した。これを持参しては、顧客の前でマイコンの働きを実演して見せたのである。

鈴木　お客様に見せてデモンストレーションしたんですが、そうしないとお客様がマイコンなんて信じてくれなかったんです。こうつなげば、こういうことができますよ。別のプログラムに変えると、こんなことも可能になりますよとかね。

――お客さんの反応は、どうだったんですか。

鈴木　やはり最初の頃は、マイコンというものを理解していただくのが非常に難しかったですね。ごく限られた人は、使ってみようかなと言いましたが、それは例外中の例外で、何かには使えそうだけど、どうやって使っていいかわからないから、使わない、といった人ばかりでした。

——実際に利用してくれた会社はあったんですか。

鈴木　なかなか使ってくれるところがなくて、結局、自分のところで使うしかなかったのです。九州日本電気のボンディングマシンの自動化に使ってもらいました。

シリコン上の電極をリードフレームに髪の毛のような金線でつなぐボンディングマシンについては後の章で触れるが、当初は「ミューコム4」の需要がないために、最初に使ってくれたのは、自社の半導体工場であった。ボンディングマシンの自動化に使われたのである。

■市場性への首脳部の懐疑

それでも次第に「ミューコム4」は知れわたり、金銭登録機のメーカーが「ミューコム4」を大量に使ってくれた。金銭登録機が最大の得意先という時代は、長く続いた。やがて、マイクロプロセッサーがいろいろな分野に使われはじめた。編み機、テレビゲーム、パチンコ、そしてワークステーションのプリンターに使われるようになると、マイクロプロセッサーが爆発的に普及しはじめた。

そのときインテル社では、マイクロプロセッサーの将来性について真剣な検討が続けられていた。これが果たして、メモリー市場に次ぐ商品に成長するのかどうか。結論は、マイクロプロセッサーはメモリーに勝るとも劣らない大市場になるだろうということになり、ビジコン社のもつ独占販売権を何とかして取り戻すべきだと衆議一決する。

だが、「4004」誕生の直後は、ロバート・ノイスすらマイクロプロセッサーの市場性には懐疑的だった、と嶋正利さんは言うのである。

嶋　ロバート・ノイスが非常に心配顔で、「嶋、これが日本で本当に六万キットも売れると思うか？」と、しつこく聞くんですね。大変疑問をもっていたようです。と言いますのも、当時アメリカでは一六ビットのミニコンが年に数千台しか売れない時代でしたから、もっと性能の悪い四ビットのCPUなど、五万台も一〇万台も売れるはずがないと内心思っていたんですね。四ビットCPUは主に電卓に使うことになっていましたが、なにせ電卓市場は完全に日本に握られていまして、アメリカには情報が乏しかったんです。ですからノイスは、ビジコン社が六万キットを買うと保証しても、半信半疑だったんですね。

同じことをフェデリコ・ファジン氏に聞くと、これまたファジン流の率直な答えが返ってきた。「4004」は絶対に商売になるからビジコン社から販売権を買い戻せ、と強く主張したのは自分だった、と言うのである。

ファジン　テッド・ホフも含めて、マイクロプロセッサーの本当の意味での将来性には、だれも気づいていなかったと思います。少ないチップで多様な電卓をつくって売るにはよい方法だくらいのことは、だれもが考えていたと思うんです。しかし私は「4004」が成功するとすぐに、「4004がさまざまな用途に売れるのだから、ビジコン社の独占販売権を解除させるように再交渉すべきだ」とボブ・ノイスに申し入れました。私の強い主張を取り入れて、インテル社はビジコン社と再契約をし、その結果「4004」をほかの目的でも売ることができるようになったのです。

アメリカ側の人たちは、ゴードン・ムーアにしてもテッド・ホフにしてもフェデリコ・ファジンにしても、マイクロプロセッサーの有用性は当初から予見していたと主張する。交通信号やエレベータ

ーの制御など電卓以外にも、さまざまに応用できると自分たちは考えたと言うのである。しかし、嶋さんに言わせると、皆がそう考えるようになったのは「4004」が実際に電卓として働いたのを見てからだった。実際に「4004」が意図通りに働くことを見きわめるまでは、ロバート・ノイスをはじめインテル社の技術者ですら懐疑的だったと言うのである。私には、そのほうが納得できるのだが――。

ホフ　私たちが独占権の解除を熱望したのは、私たちが考案したロジックが常日頃悩んでいるさまざまな問題を一気に解決してくれるものだと悟ったからです。マイクロプロセッサーを使えば、多くの事柄を効率的に解決できるだろう。たとえばエレベーターや交通信号機の自動制御などにはすぐにも使えるし、パソコンまでは考えが及びませんでしたが、オフィスのワークステーションの端末には最も適していると思いました。ですから、機器制御の分野で大きな市場として定着するだろう、と。したがって私は、これは非常に重要な商品になるだろうと信じていました。

――なるほど。

ホフ　そして私たちがそう気づいたのだから、ほかのエンジニアたちも同じように考えるだろう。つまりマイクロプロセッサーは、それ自体が立派な商品として高い市場性があると判断しました。ですから、自由に販売する権利を獲得したいと考え、ビジコンの販売独占権解除を交渉するようにお願いしたのです。

――なるほど。

ホフ　この交渉は、インテル社からもちかけるまでもなく、ビジコン社のほうから言ってきたの

です。確か一九七一年の二月頃でしたが、日本では猛烈な電卓戦争が繰り広げられていて、窮地に立ったビジコン社の代表者たちは、ＬＳＩ価格の値引きを申し入れてきたのです。そこでインテル社は、価格再交渉の条件はビジコン社が販売独占権を解除することだと申し入れました。一九七一年の五月か六月頃だったと思います。

ゴードン・ムーアも、「交渉の細かい経過はよく覚えていませんが、ビジコン社はかなり経済的に苦しい状況にありまして、倒産する寸前だったと思います。ですから、とてもスムーズに事が運んだと記憶しています」と回想している。

小島　正規の契約から三年たちました一九七三年（昭和四八年）の四月二四日に、今度はゲルバックというセールス・マネージャーから、ビジコン社（日本計算器が昭和四五年に改名）との独占契約を解除してほしいと言ってきたのです。つまり一連のＬＳＩを私どもの競争会社にも売れる状態にしたいという要求なんですね。

――要するにビジコンさんの独占を解除してほしいと。

小島　そうです。それならばインテル社が売ったＬＳＩに対して、五パーセントのロイヤリティを払いなさいと。それで契約を結び直しました。それが、最後の契約でした。

――チップがガンガン売れれば、ロイヤリティもガッポガッポですか。

小島　ところが、インテル社に「どうだ売れてるか」と再三問い合わせますと、「全然売れてない」。

――アハハハ、じゃあ五パーセントは入らない……。

小島　ほとんど入りませんでした。

揺れた「特許申請」の結末

ビジコン社の経営が逼迫していた。その要因は、二つあった。いちばん大きな要因は、三菱電機がコンピューター業界から撤退したことであった。三菱電機はかつて「1101」という科学計算機を開発し、製造販売した。これをベースに、コアメモリーを使ったストアード・プログラム方式の計算機「1530」を開発した。宇宙衛星の仕事をしていたアメリカの会社TRW社との共同開発であった。

これを改良したのが、三菱製のコンピューター「3100」であった。ビジコン社は、この「3100」の代理販売とメンテナンスサービスを一手に引き受けていた。その業務を遂行するために、三〇〇人を超えるサービスエンジニアを抱えていた。

ところが、コンピューター業界に再編成の嵐が吹き、三菱電機はコンピューター業界から撤退した。アメリカでGEがTRWとオリベッティの計算機部門やマシンブルなどを買収し、IBMと激烈な競争を繰り広げた。GEは、日本でも東芝と手を結び、コンピューター市場に参入した。あおりをくらった三菱電機のコンピューター部門は、市場から撤退を余儀なくされ、そのメンテナンスサービスを一手に引き受けていたビジコン社は、窮地に追い込まれた。

二つ目の要因は、ちょうど時を同じくして、電卓の価格が暴落しはじめたことである。ビジコン社製のポケット電卓「LE-120」が脚光を浴びる間もなく、ほぼ同じ性能の電卓を、立石電機が半値で発売した。〝オムロンショック〟と言われた事件であった。

その一五か月後、昭和四七年七月には、今度はカシオ計算機が六桁電卓を一万二八〇〇円で発売。

電卓の価格全体が雪崩を打って暴落。
「アニタ・マーク8」の購入、「ビジコン161型電卓」の発売、「ビジコンLE-120A」ポケット電卓の発売など、電卓業界ではしばしば旋風を巻き起こしたビジコン社であったが、その財政基盤は皮肉なことに終戦直後から売ってきた手動式計算器に頼っていた。割り算の計算で「余り」を知ることができる手動式にはそれなりに人気があり、電卓時代に入っても根強いファンがいたのである。だから電卓の値段が手動式計算器を大きく下回らなければ生き延びることができると考えていた。しかし、一万円電卓の「カシオミニ」が登場してその希望を打ち砕いた。

こうした二つの理由から、ビジコン社の経営が急速に傾いたのである。

そんないちばん苦難のときに、今度はニクソンショックが襲った。為替レートは固定相場制から変動相場制に変わり、円のレートが一ドル三六〇円から一挙に一七六円にはね上がり、輸出は急速に鈍り、収入は激減した。NCRとの間にOEM(委託生産)契約をしていたビジコン社は、抜き差しならない窮地に陥った。

こうした事情からビジコン社は、インテル社の申し出を受け入れたのである。

余談になるが、小島さんはマイクロプロセッサーでは大きなチャンスを逃している。特許の申請を思いつきながら、実際にはしなかったのである。もし、このとき特許を申請していれば、後刻、莫大な富を手中にできたかもしれなかった。

小島　一度は、マイクロプロセッサーのパテントをインテル社と共同で申請しようかと考えたことがあるんです。ノイスだったら信頼がおけるから、日米で特許申請ができないだろうかとね。やっていたら、私の人生も、ビジコン社の社史も、半導体産業の歴史も、大きく変

わっていたかもしれませんね。

――気がつかなかった？

小島　いえ、そうじゃなくて、私も一度は、特許申請を真剣に考えたんです。それで「パテントを取りたい」と、コンピューターにくわしい重役だった丹波さんに言いましたら、「ストアード・プログラミングも常識だし、LSIも常識なんだから、取れませんよ」と彼は言うんですね。それでも私はあきらめきれずに、三菱電機から来ていた山田さんという専務に、三菱電機さんに行ってパテントが取れないか専門家に聞いてきてほしい、と頼んだんです。

――結果はどうでしたか。

小島　にべもなく、「そんなものパテントにはなりませんよ」と一蹴されたそうです。それで、私はあきらめたんですが……。

――しかし、出せば……？

小島　特許庁の馬場さんという方が、雑誌にお書きになったんです。「これが特許にならずして、何が特許になるか」と。

『インターフェイス』という専門誌の一九七七年一〇月号に載った「幻のマイコン帝国」という記事には「ストアード・プログラム方式によるコンピューターはノイマンの発明であるけれども、それをLSIチップに搭載したことは画期的な発明であり、当然のことながら特許申請をすれば特許は認可されたであろう」、「もしそうなったら、一九七七年の時点でビジコン社は、二〇〇億円から三〇〇億円という莫大な特許収入を得たにちがいない」と書かれていた。

――うひぇー、一四年前で三〇〇億円ですか。

小島　そうです。しかし、今からではすでに遅い、したがって「幻のマイコン帝国」というのはビジコン社のことだとね。

——じゃあ、三菱電機のプロフェッショナルも相当無責任なことを言ったもんですね。

小島　まあ……。しかし、決して強がりを言うんじゃないですが、私どもが特許を申請しなかったからこそ、マイコン時代がやってきたと思っているんです。

——それは、どういう意味ですか。

小島　たとえばサーマル・プリンターの場合は、特許期限が切れるまで普及しませんでしたね。特許が切れてから急速にサーマル・プリンターが普及して、今やサーマル・プリンター全盛の時代ですね。もし、私どもがマイクロプロセッサーの特許を取っていたら、サーマル・プリンターと同じ事態が起きて、特許期限が切れるまで普及しなかったかもしれないと考えているのです。マイコンが子どものおもちゃからわれわれの身の回りにこれだけ普及したということは、特許がなかったからだと思うんです。

——でも大金が入れば、電卓戦争で倒産ということにはならなかった?

小島　アメリカのベンチャーたちを見てますと、大儲けした人たちがクレイジーになるケースもたくさんありますね。お金があんまりできると、人間はどこかおかしくなってきますからね。

——アハハハハ、とらぬ狸の皮算用もいいとこですね。

小島　アハハハ、まったく。

ところがインテル社では、小島さんに誘われるまでもなく、さっさと特許申請をしていたのである。

ただ、記載の仕方に不備があり、その後登場するマイコンについてインテル社が排他的権利を主張できなかったというのである。

ホフ　私たちも、マイクロプロセッサーの特許を申請し取得しました。それは4004番ラインの特許なんですけれども、私の名前とスタン・メイザー、フェデリコ・ファジンの名前が載っています。それは回路をどのように接続してチップに搭載して一六ピンのリードパッケージの中に収めたり、製造したりするかといった事柄についての特許です。問題は、この特許のなかでは私たちはワンチップ・コンピューターとは言わなかったことです。この概念を明記しなかったために、ワンチップ・コンピューターについての排他的な権利を取得することができなかったのです。

――なぜ明記しなかったんですか。

ホフ　たぶんそれは、弁護士のミスだったのかもしれません。ただ、当時は非常に多くのコンピューターが出回っていまして、そこで使われるLSIチップの数も次第に減っていました。一〇〇個から一〇個へ、一〇個から五個、三個、二個とね。それを一個に減らすことができたからって、それほど重大なことだとは感じなかったのです。馬鹿げているような感じがしたんです。つまり、そんなことは大した違いにならないんじゃないかと考えたんです。

――他の会社はどうだったんでしょうか。

ホフ　熱心だったのが、テキサス・インスツルメンツ（TI）社でした。私たちの「8008」に相当するバージョンの特許申請をしました。ただ「8008」がもっていた機能に比べて限界があり、市場では成功しませんでした。

日本の電卓戦争ではＴＩ社製のＴＭＳ１０００を使って、零細な電卓メーカーが雨後の竹の子のように生まれたことを下巻第7章「電卓戦争の勝者と敗者」の二三二ページ「にわか電卓メーカーの乱立」で詳述した。このチップに、表示装置とキーボードと電源部をつなぎ、ケースに入れれば電卓になったからである。しかも電卓メーカーの要望に応じて、多少の機能変更が可能であった。

それはＴＭＳ１０００が本質的にはマイコンであり、中のＲＯＭ部分のソフトをユーザーの要求する仕様に合わせて変更することができたからである。同じＴＭＳ１０００を使っても、仕様の違う電卓をつくることができた。こうした特徴をもつＴＭＳ１０００が日本の電卓戦争を加速したのは下巻で触れた通りである。

この八ビットのマイコンは、ＴＩ社のゲーリー・ブーンとマイケル・コクランが特許を一九七一年に申請し、一九七八年に取得したものであった。しかしこの特許も、マイコン全体についての排他的権利を取得するには至らなかったのである。

挑戦的プランへの参画

ビジコン社の販売権を買い戻したインテル社は、ＣＰＵの「４００４」を中心に「４００１」（ＲＡＭ）、「４００２」（ＲＯＭ）、「４００３」（入出力装置）など四つのＬＳＩをキットにして、「ＭＣＳ４マイクロコンピューターセット」と銘打って売り出した。その広告が、一七二ページの写真で、「集積回路技術の新時代を告げる」と宣言し「あなたのプログラムで動く超小型コンピューター」とうたっている。マイクロコンピューター、マイコンの登場であった。

テッド・ホフとスタン・メイザーは、「MCS4」の使い方とその有用性を普及啓蒙するために、数週間にわたって全国を行脚して歩いた。ユーザーズマニュアルやアプリケーションノートなどを準備して、各地で数多くのセミナーを開いた。

一七三ページの写真は「4004」を使ってみたいと願う顧客のために、テッド・ホフたちが製作した開発支援装置である。この装置に顧客が「4004」で駆動したいと願う機械装置をつなぎ、駆動手順をプログラムに組んで「EP-ROM」(紫外線照射によって記録内容を消去できるメモリー)に記憶させれば、顧客の装置が「4004」で実際に動いたのである。一種のシミュレーションボードであった。これを車に積んで、テッド・ホフたちはマイクロプロセッサーを普及させるために、全国を行脚した。

彼らは、顧客に使用法を教えると同時に、顧客の要望を丹念に集めた。このプロセッサーのどこが気に入り、どこに不満があるか。あるいは顧客は「4004」を何に使っているのか。用途によっては商品の性能をどう変えたらよいのか。そうした顧客の反応を収集分析し、後に開発する「8080」のコンセプトをつくっていったのである。

ムーア　私たちは、マイクロプロセッサーを人々に使ってほしいと粘り強く説得しなくてはいけませんでした。もちろん、ちょっとした用途に使われることはありました。たとえば、ある農場主は養鶏場の自動化に使いました。卵が産み落とされたときに、それを自動的に数えるというものでした。

――なるほど。

ムーア　いずれも、とても特殊な用途ばかりでした。やはり「4004」は計算機用に開発され

MCS４のマイクロコンピューターセットの広告

たので、普通のデータ処理に使うには不便なところが多かったのです。そこで、データ処理に向いている八ビットのプロセッサーを開発することになり、私たちはビジコン社とは別の会社と組んで「８００８」を共同開発しました。

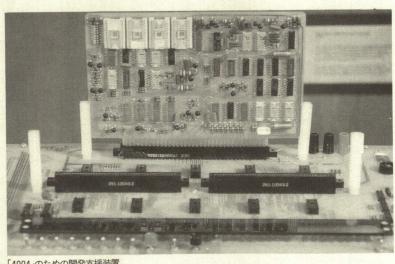
——なるほど。

ムーア　ところが、「８００８」もデータ処理用にはつくったのですが、大成功というわけにはいきませんでした。「４００４」も「８００８」も、性能上の制約が大きかったのです。いちばんの弱点は、パッケージのコストを低くするために端子を一六ピンに押さえたことでした。そのために全体の性能が低くなってしまったのです。今度はそうした制約を取り払って、より高性能なプロセッサーを開

「4004」のための開発支援装置

発しようと考えたのです。

——それは？

ムーア　顧客の強い要望に従って、新しいテクノロジーを導入することにしました。搭載するトランジスタとして、NチャンネルMOSを採用することにしたのです。そうすることで、それまでのPチャンネルMOSよりはLSIの集積度を格段に上げることができました。そんな挑戦的な意図で計画されたのが「8080」でしたが、それこそが充分な機能をもつ、最初のデータ処理用のマイクロプロセッサーになりました。

「8080」の開発にも再び、嶋正利さんが深く関わることになった。ビジコン社が破綻したあと、嶋正利さんはリコーに転籍した。その彼を欲しいとリコーの社長に直接談判したのは、「ロバート・ノイスであった」と、嶋さんは言う。

だが、フェデリコ・ファジンは、嶋さんをスカウトしたのは自分であったと言う。いずれにしても、再び嶋さんは、今度は顧客としてではなく、インテルの社員として「８０８０」の開発に従事することになった。

嶋　一九七二年の一一月に渡米して、インテル社に出頭しました。すでに「８０８０」開発チームができていて、自分はその一員になるのだとばかり思っていたんですが、行ってみると様子が違う。私がインテル社に出頭したときは、ちょうど開発会議の最中でした。その会議にいきなり連れていかれましたので、私は聞いたんです。まず「だれが設計を担当していて、チームのメンバーは何人くらいでやるんですか」と。そうしましたら、「おまえ一人だ」と言うんですね。「あとは、マスク屋をつけるからおまえ一人でやってくれないか」と言うんです。それで聞いたんです「機能書を見せてくれ」って。すると「今、それをやっているんだ」と言うんです。

――それで引き受けたんですか。

嶋　引き受けるも、受けないも、ない。瞬く間に引きずり込まれまして、新開発の方針をああでもないこうでもないとカンカンガクガク始まってしまったんですね。まるで喧嘩腰でした。英語が得意ではない私は、ただ茫然と聞くだけでしたが、やがて嵐のような議論が終わると、ノイスが「あとは嶋、君に任せるから」と言うんです。

――集まっていたメンバーは？

嶋　テッド・ホフ、フェデリコ・ファジン、「８００８」の設計者ハルフィーニ、スタン・メイザーなどでした。

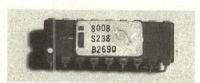
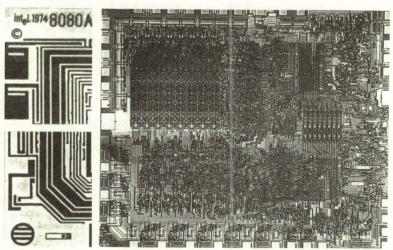
一世一代の晴れ舞台

こうして「8080」の設計と製造が嶋さんの手に委ねられ、九か月後に完成した。ゴードン・ムーアが「『8080』のプロジェクト・マネージャーは嶋さんでした。論理設計と回路設計を彼自身がやり、『8080』の開発についての全責任を彼に負ってもらいました。細かい貢献については私はお話しできませんが、とてもすばらしいものだったと思います」と語っている通り、「8080」は嶋正利さんの一世一代の大仕事であった。

すべての設計作業が終わったのは、一九七三年八月九日のことであった。その瞬間の様子を、彼は次のように書き綴っている。

「やっと終わった。何も考えたくないくらいエネルギーを使い果たした。肉体はものすごく消耗していた。

一九七二年一一月に、プロジェクトを開始して、九か月間緊張の連続であった。集中力を持続させ、なるべく仕事だけを考えるようにした。週末に体を休息させている間も頭の中は思考の中断を避けるために論理や回路のことを考え続けた。頭脳が興奮状態にあるため、寝ていても論理図が脳裏に浮かび、夢の中で知らぬ間に論理をチェックしていたりということがしばしばだった。夜中でも飛び起きて車を飛ばしオフィスにでかけ論理図を開き夜を徹して検討したり、思えば悪夢のような生活であった」と。

「8080」の最終チェックが終わったその夜、嶋さんの奥さんは、陣痛が始まり、病院に入院した。翌朝、駆け込むと子ども用のベッドには二つの顔がすやすやと寝息をたてていた。双子であった。

「8008」の外形

「8080」のシリコンの表面。左下は、刻印された家紋

――「8080」と双子のお子さんと、一度に三人の子どもの親になられた。

嶋　アハハハ、でも「8080」のほうが子どもより可愛いですよ。その後ザイログ社に移って開発した「Z80」を、人は「Z80はすごいね」と言ってくれるんですが、私にとっては「8080」のほうが自分の血をわけた分身だと思っているんです。この愛着を何とか表現

したいと思って、マスクの隅に嶋家の家紋を入れたんです。丸に三本の家紋ですがね。

前ページの写真は、「8080」のシリコン表面である。その左下の隅に、㊂型の家紋が刻んである。「4004」にはフェデリコ・ファジンのイニシャル「FF」が刻んであった。嶋さんは、全身全霊をこめてつくった「8080」には、何かの自分のシンボルを残したかった。しかし「正利・嶋」の「MS」では物足りなく思えたのである。静岡県で代々呉服屋を営んでいた嶋家の家紋が㊂。そこで、嶋家代々の紋どころ㊂をマスクパターンの片隅に描いたのである。

ファジン　ええ知っています。彼は「8080」のチップには、家紋を入れました。最初に「8080」をテストしたのは一九七三年の一一月か一二月のことでした。テストは嶋さんの手で進められましたが、彼の手は震えていました。「4004」のときに震えていたのは私の手でしたが、「8080」のときは彼の手が震えていました。

——完全に動いたときの嶋さんは?

ファジン　「Yatta!」と、何度も彼が言っていたのをよく覚えています。設計するときにも、彼はよく「ヤッター」と叫んでいました。ですから、私もしばしば「おお、嶋、ヤッター」と応えたものです。

そのときの感動は今も決して忘れたことがないと言う嶋さんは、その瞬間のことを次のように回想する。

嶋　みんなの見守るなかで「8080」が動いたときには感動しましたよ。思わず私の口癖で「やったー」が出てしまったんです。プログラムを次々と走らせるたびに、「やった、やった、やった」と叫ぶものですから、インテル社ではしばらくの間、「YATTA」が流行し

ましてね。

──なるほど、「ヤッターマンの嶋さん」ですね。

嶋　しかしアメリカというところは、すごいところですね。私が感動に浸っていると、その隣でこのチップをいくらで売ろうかという談合をしているんです。チップ一個を三〇〇ドル以上にしようと言うんです。当時は一ドル三六〇円時代ですから、日本円にして一〇万円を超えましたが、びっくりしたことには、三〇〇ドルのチップが飛ぶように売れたんです。私はまだ改良したい箇所があって、売るには不充分なチップだと思っていたんですが、インテル社は有無を言わせず量産をし、販売を開始した。投下した資本を早く回収し、競争相手が登場しないうちにできるだけ多く売ってしまおうというわけですね。

嶋さんは、「8080」開発成功のポイントを二枚の論文にまとめ、ISSCC（国際固体回路会議）という、世界で最も権威ある学会に提出した。当時ようやくマイクロプロセッサーが時代の脚光を浴びはじめたばかりであった。論文は即座に採用され、一九七四年の二月一三日にフィラデルフィアで開催される学会で発表する運びとなった。論文の書き方から発表の仕方まで、フェデリコ・ファジンとラルフ・アンガマンが懇切に手ほどきしてくれたのである。

嶋　論文がパスして、いざ発表のときがやってきた。私の場合は社内で毎日練習をやったんですが、ファジンが「おまえのはまず何よりも英語がなっていない。こんな原稿でやったんでは人は聞きはしない」って言うんですね。もっと恰好よくストーリーをつくるべきだ。人に物事を伝えるためには、必ずストーリーを考えるべきだ。それもドラマティックなストーリーのほうが人の心を打ち、一層意図が伝わると言うんですね。

——まるでテレビ屋みたいなことを言うんですね、ファジンさんは。

嶋　アメリカ生活で学んだ最大の収穫の一つが、プレゼンテーションということでした。自分の考えをいかに相手に印象づけて説明するか。プランの立て方、論旨の運び方、それを説明するときの表情や仕種や話術、説明のための道具だて、すべてを説得のために動員する。それで勝負が決まるわけですから、だれもが必死でした。そんななかで、私は非常に鍛えられました。

——いや、嶋さんの表現力には敬服していますよ。

嶋　ですから、毎日いろいろと論文のストーリーを変えて、皆の前でやってみては感想を聞いたんです。家に帰ると、双子の赤ん坊を前に練習しました。壁の額をはずしてスクリーンにして、後ろにスライドを置いて、壁の前に双子の赤ん坊を二人座らせて、壁に説明の幻灯を映し出すんですね。双子の赤ん坊を聴衆に見たてて毎晩、発表の練習をするんです。「レディーズ・アンド・ジェントルマン」とね。夜は家で、昼間は会社で、人の迷惑も考えずにやりましたよ、アハハハ。

一九七四年の二月、雪一色のフィラデルフィアで、ISSCCが開かれた。ホテルに着くと、部屋にこもったまま練習を続け、次の日の早朝から練習の仕上げに入り、午後一番に会場に入った。

著書には、こうある。——「不思議と発表の前夜はぐっすりと眠れた。朝起きて食事をしたあと、発表の時間まで部屋にこもり何度も何度も発表の練習をした。私の人生で最も緊張し興奮し晴れがましい日がやってきた。それは一九七四年二月一三日のことであった」。

——いよいよ晴れの大舞台ですね。

嶋　私が登壇した途端、ものすごい拍手が湧きましてね。当時マイクロプロセッサーをミニコンの水準にまで上げた人はいなかったんですよ。ですから、関心が非常に高かったのです。私は天にも昇る気分で、気持ちが昂まりました。私の英語は下手なんですが声だけは大きいものですから、大きな声で最後のスライド説明までたどりつきました。それがあの壁に飾ってある図面なんです

筑波学園都市にある彼のオフィスには、「8080」の顕微鏡写真が額に入れて飾ってある。

嶋　会場の大きなスクリーンに図面を映し出して「これが今述べた8080だ」と一段と大きな声を張り上げたんです。すると割れるような、すンごい拍手。わーっという歓声と拍手がこだまして長く続きまして、それはもう嶋正利、一世一代の晴れ舞台となりました。開発をやってよかったな、とつくづく身の幸せを感じました。

――ちょっと、幸せいっぱいのところ申し訳ありませんが、やっていただけませんか、その場面を。

嶋　英語で何て言ったかな、原稿がこの前まであったんだがなあ。「ジス・イズ・エイティエイティ」じゃなくて、もっと恰好がよかったんだなあ。そう、思い出した。「ネックスト・スライド・プリーズ」と言って、スクリーンに「8080」の回路図が出る。そこで何と言ったかな。そうだ、「ジス・イズ・ザ・フォトグラーフ・オブ・セカンド・ジェネレーション・オブ・マイクロプロセッサー、8080」でした。するとワーッ、ワーッという歓声と拍手で、私の最後の言葉は消されました。

る。

「8080」の登場が、アメリカで、マイクロプロセッサーの市場を本格的に切り拓いていくのである。

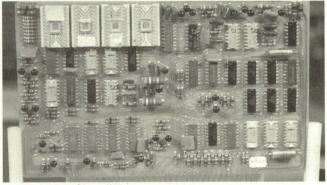
マイクロプロセッサー搭載のパソコン

マイクロプロセッサーは当初、機械装置に組み込まれて目立たない分野で静かに普及していった。自動車エンジンの制御とか産業用の自動機械などである。こうした地味な普及ぶりを一転させたのが、パーソナルコンピューターであった。

最初にアメリカのパソコンブームに火をつけたのが、アルタイル(ALTAIR)というパーソナルコンピューターの組立てキットであった。組立て方法が『ポピュラー・エレクトロニクス』誌に掲載されたのが一九七五年一月。キットの価格が三九七ドル。組立て済みの完成品が四九八ドル。どちらにしても、動かすまでには非常に手間のかかるしろものであった。しかし、発売元のMITS社には何千台もの注文が殺到。それは、販売見込み台数の二〇〇台をはるかに上回る数であった。

組立て済みのアルタイルが、次ページの写真Aである。中のプリント基板を取り出したものが写真B、そこに装着されているCPUが、写真Cである。そこには、インテル社のマイクロプロセッサー「8080」と明記してある。RAMはわずか二五六ビットという原始的なメモリーを使い、モニターもキーボードもなく、ユーザーは正面のスイッチを「ON/OFF」する操作を繰り返して、二進数プログラムを入力した。出力は、ランプの点滅によって読み取った。

組立ても操作もやっかいであったが、アルタイルMITS「8800」こそが、商業的に大成功した初のマイクロプロセッサー搭載のパソコンであった。この成功で、パソコン市場が急速に息づいて

いくのである。
　いくつかの大企業が個人用に小さなコンピューターをつくることを考え出したのが、一九七〇年の初期であった。そのなかに、写真Dのようなスキャンプ（SCAMP）という機種があった。一九七三年

A　組立て済み「アルタイル」

B　アルタイルのプリント基板

C　プリント基板に装着されたＣＰＵ（インテル8080）

にＩＢＭのパロアルト科学センターが、ＩＢＭのコンピューター言語を普及推進させるために試作した。だが、ＩＢＭ本社は、このスキャンプ・プロジェクトを強力に支援推進することはせず、生産にも移さなかった。

一九七〇年の中頃になると、パソコンキットを買ったマニアたちがグループをつくるケースが急速に増えた。組み立てるのも動かすのも大変難しいし、パソコンについて彼らは、グループ同士で助言をし合ったり情報を交換し合ったりしていた。なかでも、コンピューターを自作するマニアたちが一九七五年三月にシリコンバレーのサンタクララで結成した「ホーム・ブルー・コンピューター・クラ

D　スキャンプ(SCAMP)

E　手製のパソコン（APPLE）

F　携帯用パソコン「オズボーン」（OSBORN）

I　ＩＢＭが初めて発売したパソコン

G　コンピュープロ(ＣＯＭＰＵＰＲＯ)

J　マッキントッシュのパソコン

H　サン(ＳＵＮ)

ブ」は、パーソナルコンピューターの普及に大きな貢献をしたと言われている。写真Eは、彼らのメンバーの一人がつくった手製のパソコン「アップル」である。
写真Fは、世界初の市販型携帯用パソコンのオズボーン（OSBORNE）である。一時、オズボーン社はパソコンメーカーとして隆盛をきわめたが、すぐに倒産して市場から消えた。写真Gは、コンピュープロ（COMPUPRO）である。初期のパソコンでは最も強力なもので、それまでの大型コンピューター（メインフレームコンピューター）やミニコンピューターしかできなかった演算をも処理できるようになった。写真Hはサン（SUN）という名のパソコン。サン・マイクロシステムはエンジニア向けのワークステーションの先駆的な存在であった。高速のプロセッサーを使い、高画質大画面のグラフィックスを提供した。写真Iは、IBMが一九八一年になって初めて発売したパソコンである。IBMの名声にも支えられて、一般市場とビジネス市場を席巻した。
そのライバル機種がマッキントッシュ（MACINTOSH）のパソコン、写真Jである。IBMの最も強力なライバルとして、パソコン市場に変革をもたらした。一九八二年に発表したマッキントッシュ・コンピューターは、デザインも操作も、IBMパソコンとは大きく異なっていた。発売後直ちに成功はしなかったものの、グラフィック多用の操作法は、次第にアップル愛好者を増やしていき、特に、大学生の人気を得た。やがてデザインが改良され、付属の卓上プリンターがつくようになって、アップル・コンピューターはビジネス市場で爆発的な成功を収めていく。
こうして今や、マイクロプロセッサーを搭載したパソコンは三〇年前の大型コンピューターの能力を備えるようになった。一部屋いっぱいに埋めつくした巨大なコンピューターが、今や弁当箱ほどの大きさに縮小してしまい、価格も、何万ドルといった単位からわずか千数百ドルに下がってしまった

のである。

シリコンチップ上の知能の全貌

さて、二三年前にメモリーの開発と普及を旗印に設立されたインテル社だったが、メモリーの分野では日本にお株を奪われ、世界屈指のマイコン製造会社になっている。世界四か所にデザインセンターをもち、それらが専用のディジタル回線でつながっている。

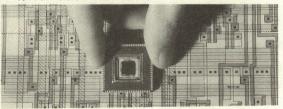
筑波学園都市に設立されたインテル・ジャパンは、アメリカに次いで大きな規模を誇っている。ここで、日本のユーザーの要望に合わせてマイコンが設計される。最終的に仕上がったマスクパターンの情報は、座標軸のデータに置き換えられて、ディジタル回線でアメリカに送られ、本社工場でシリコンウエハーに加工される。マイコンの設計要員はすべて日本で採用された若いエンジニアであるが、その数は極秘事項だという。

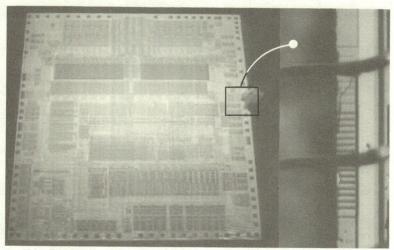
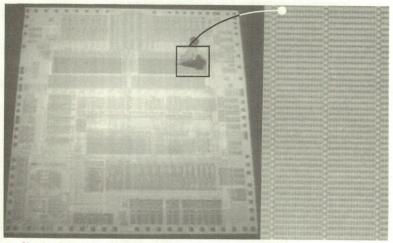
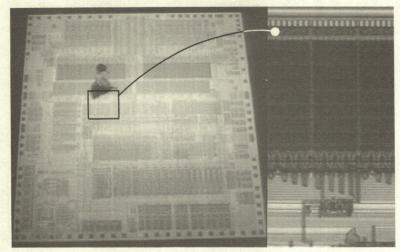
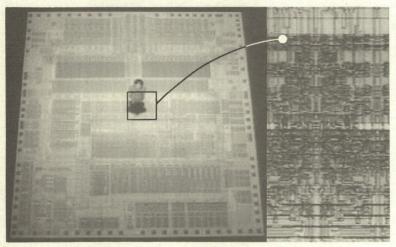
顧客との間で開発製造契約が成立すると、論理設計、回路設計、マスク設計、コード作成、コンピューター・シミュレーションと、仕事別にチームが編成される。どの作業もコンピューターの助けを借りて設計する仕組みになっている。かつてエンジニアやデザイナーが身を削る思いをして手描きした回路図やマスク原図は、キー操作一つで瞬時に描き出される。たとえば、N型不純物拡散用マスク、アルミ配線用のマスク、多結晶シリコンの成長用マスク、P型不純物の拡散用マスク、アルミ配線用マスクなどである。最後に、これらを一枚の紙に打ち出して、肉眼でチェックする。

写真Aは、肉眼チェックの風景である。線の幅を一〇〇〇倍に拡大すると、図形の大きさが八メー

トル四方になる。この回路がシリコンチップにつくり込まれ、最後には、写真Bのようなパッケージに収められる。指で挟んでいるマイクロプロセッサーの後ろに見えているのが、先の図面である。マイクロプロセッサーは、第1章の三二ページに掲載した写真Aと同じものである。インテル社の一六ビットマイコン87C-196MD。その顕微鏡写真が、同じページの写真Bである。

現代では、マスクパターンのチェックも、コンピューターがほとんどの不良箇所を教えてくれる。

A　打ち出した回路図・マスク原図の肉眼チェック

B　シリコンチップのパッケージ

C　回路図のマスクパターンとの肉眼チェック

D　巨大な回路全図を歩く女性
（右隣）歩いている部分のシリコンチップ表面（顕微鏡で拡大）

E　読み出し専用メモリー（ＲＯＭ）

F　読み書き自在のメモリー（ＲＡＭ）

G　中央処理装置（ＣＰＵ）

しかし、最後の仕上げは肉眼でやる。スクリーン上では、拡大すれば全体が見えず、全景にすれば部分が見えない。拡大した部分を連続してチェックするには、紙にして見る必要がある。必要なところを重点的に紙の上でたどっていく。一か所の不良箇所を見逃しても、できたチップが正常な動作をしなくなる。写真Cは、回路図を片手に、それをマスク図形と照合し点検しているところである。これがガラスに縮小転写され、それを使ってシリコン表面に八ミリ角の回路としてつくり込まれるのである。その完成した姿が、先ほど三二ページをめくって見ていただいた顕微鏡写真Bである。

では、これから、この顕微鏡写真と先の原図を対照しながら見ていくことにしよう。

巨大な図面を点検していた女性に、図面の上を歩いてもらうことにした。写真Dは、女性が図面の周辺部を歩いている。四角い黒点が図面の周囲に配置されているが、これはシリコン内部の回路と外部をつなぐ出入口である。彼女が歩いている部分に相当するシリコンチップの表面を顕微鏡で拡大したのが、右隣の写真である。金線が、電極部にボンディングされているのがよく見える。

同じように、写真Eは、読み出し専用メモリー（ROM）。布地の表面を見るように整然とした編み目が続いている。写真Fは、読み書き自在のメモリー（RAM）、黒い海のように見える部分に無数のMOSコンデンサーがつくり込まれており、それらを制御する回路も付属している。

写真Gが、中央処理装置（CPU）である。これまでのROMやRAMとは比較にならないほど、複雑に入り組んでいる。このほかに、多くの機能回路が小さな面積の中に配置されているが、それらの機能をつくり出しているのが、二〇万個のトランジスタと一〇メートルを超える配線であった。これが七・一八ミリ×七・五四ミリ角のシリコンにつくり込まれた知能、一六ビット・マイクロコンピューターの全貌である。

こうしたマイコンこそが現代の電子社会を支えている大きな柱であることは間違いない。そのきっかけをつくったのはまぎれもなく、マイクロプロセッサーの発明者テッド・ホフであった。彼は、自分が電子革命に果たした役割について、次のように話している。

ホフ　皆さんは革命と言ってくれますが、しかし技術革命は、それだけが突然変異のように出現するのではありません。革新というのは、青天の霹靂（へきれき）のように起こってくるのではなくて、少しずつ段階を踏んで起きてくるものです。

――はい。

ホフ「4004」の場合も、例外ではありませんでした。ビジコン社との契約がなかったら、「4004」は生まれなかったでしょう。あるいは、ビジコン社の過大な要求がなければ、私たちはマイクロプロセッサーなど考えようともしなかったかもしれません。そして、「4004」をつくらなければ、それを発展させた「8008」の提案をする自信がなかったでしょう。進歩というのは、こうしたステップを一つ一つ踏んで実現していくわけで、そういう意味で、私たちのマイクロプロセッサーの歴史的な経緯は大変幸運であったと言えます。それぞれのステップが次のステップを準備したわけで、その流れをつくる最初の源流が、まぎれもなくビジコン社の注文に発していました。

――なるほど。

ホフ　もしビジコン社の仕事に関わっていなければ、私が提案したようなインスピレーションは湧かなかったかもしれません。

――そうですか。

ホフ　もちろん、時代の趨勢からすれば早かれ遅かれ、ワンチップ・コンピューターは登場したとは思います。実際、当時の文献を調べてみればわかることなんですが、将来的にはシリコン結晶の中にコンピューターを搭載することになろうと予想していますから。ただ私たちの仕事がなければ、それが実現する時期はずっと遅れていたに違いありません。

――ご自分が果たされた歴史的な役割を、どうお感じになっておられますか。

ホフ　六〇年代後半から七〇年代初めのことを思い起こすと、コンピューターというのはなかなか手の届くものではなかったんです。かなり、経済的に豊かでなければ、コンピューターなど買えませんでした。コンピューターと言えば、大きくて高価な装置であると相場は決まっていました。しかも、それが置かれた場合はエアコンの効いた部屋に大切に設置され、それを扱う人は選ばれた人たちでした。ところが、今日ではだれでもが自分の机の上にコンピューターを置くことができるようになりました。しかも、その性能は驚異的に高くなっています。当時かなりの額の予算を投じて買ったコンピューターより、現在のパソコンのほうがはるかに優れた機能を備えています。

――なるほど。

ホフ　現在私たちが使っている卓上型のパーソナルコンピューターは、二〇年前のメインフレーム型よりもさらに多機能で、高性能なものになっています。私が「４００４」を設計するときに目標にしたコンピューターは、ＩＢＭ１６２０型でした。私たちのマイコンキットＭＣＳ-４は、わずかながらその目標値には及びませんでしたが、ほとんど遜色ないくらいまで近づけることができました。ＩＢＭ１６２０の価格は一〇万ドルもする装置でしたか

ら、「4004」ができたということは、同程度の機能が一〇万ドルから一〇〇ドルに下がってしまったということでもありました。以来、この傾向が一貫して今日まで続いてきたわけです。マイクロプロセッサーは、誕生以来ずーっと性能が向上し続け、価格は下落し続けました。ですから、私が歴史的に果たした役割は、コンピューターの民主化だったと思っているのです。

困難でリスキーな開発への意志と情熱

一九七九年（昭和五四年）には、日本だけで七五〇〇万個のマイクロプロセッサーが生産された。これが五年後の一九八四年（昭和五九年）には四億個と八倍になり、それが次の一年では生産個数が実に一六億個に伸びている。今や、あらゆるものにマイクロプロセッサーが使われている。その能力も四ビットから八ビット、一六ビットへと進化し、今では三二ビットまで進化してきた。

ところが、一六ビットや三二ビットのマイクロプロセッサーとなると、アメリカに一歩も二歩もリードされていると言われている。日本はメモリーの分野では大変強いけれども、マイクロプロセッサーの開発では、アメリカにまだ及ばないと言われている。

先ほどマイコンの各機能を顕微鏡でのぞいてみたが、たとえばROM（読み出し専用メモリー）とかDRAM（読み書き自在のメモリー）とCPU（中央処理装置）の部分を比べてみていただきたい。メモリーは同じものを高い密度で集積する技術であり、ここでは設計技術よりも生産技術の優劣がものを言う。図抜けて優れた天才はいなくても、集団としては高い水準にある日本の技術者が、メモリーの

生産では独壇場とも言える威力を発揮できるのである。一方、マイクロプロセッサー（CPU）には、個人の天才的なヒラメキと不変の情熱が必要である。初期のマイクロプロセッサー「4004」の開発で見てきた通りである。

そして特に重要なことは、ソフトに対する理解と才能がものを言う分野だということである。長い間、ハード中心に努力してきた日本の技術者は、ソフトの設計があまり得意ではないと言われている。

マイクロプロセッサーというのは、常にソフトと一体で考えなければいけない商品である。ある会社が、自社の製品にマイクロプロセッサーを使う。やがて、製品の第二世代をつくるときがやってくる。そのとき、マイクロプロセッサーも同じ会社の同じシリーズの上位バージョンを使うことになる。たとえそのとき、より優れたマイクロプロセッサーが違う会社から発売されていても、容易に乗り換えることができない。マイクロプロセッサーと深い関係にあるソフトやコードの方式が、メーカーによって異なるからである。そうなると、使うマイクロプロセッサーはどうしても同じ系譜になりがちになり、ユーザーがマイクロプロセッサーのメーカー中心に系列化させられていく。だから、後発メーカーが、たとえ画期的な商品を開発しても、それをユーザーに使わせるのは並大抵なことではない。途中から新しい種を蒔くには、大変なエネルギーが必要になる。

そういう意味で、マイクロプロセッサーの誕生には日本が深く関わりながら、それが育ったのはアメリカだったということが、現在の日本がマイクロプロセッサーの分野ではアメリカに後れをとっている原因だと言う人もいる。日本のユーザーは、好むと好まざるとにかかわらず、アメリカのマイクロプロセッサーの体系に組み込まれざるをえない。今やインテル社とモトローラ社といった二つの系列が、マイコンの世界を動かしていると言っても言い過ぎではない。だから、何事も最初が肝心。だ

れもやらなかった分野を切り拓くということが何より大切だ、ということになる。
「4004」の開発には大きな貢献をし、世界をマイコン時代に導いた「8080」の開発では責任者の地位にいた嶋正利さんは、次のように語っている。

嶋　マイクロプロセッサーの開発は、これまでに詳細に見ていただいたように、複雑で、難しくて、リスキーなんですね。しかし本当の開発というのは、それを乗り越えることなんですね。何かを開発するということは、人がまだ考えていないものを新しく生み出すことですから、賛成してくれる人は、本当にいないんですよ。ですから人に負けない意志と情熱がないと、挫けてしまうんです。「8080」でさえ九か月もかかりましたが、今ではマイクロプロセッサーの開発はゆうに二年以上はかかります。そしてお客様が評価をしてくれるまでに、さらに一年から二年はかかります。だから、トータルで四年から五年もの間、決して挫けないだけの逞しい意志と情熱が必要なんです。独創的な創造力のほかにね。そうしたリスクを避けて人の開発したものを真似ていたのでは、世界からまともに相手にはされないと思いますね。

▒ 産業技術への導入でリードした日本

日本はメモリーの分野では大変強いけれども、マイクロプロセッサーの分野ではアメリカにまだ及ばないのだそうである。しかし、マイクロプロセッサーの設計能力はアメリカより劣っていても、マイクロプロセッサーを使いこなす能力では、日本は抜群の力を発揮している。

キーボードによる入力で動くロボット

それには二つあって、その一つが数々の応用商品を生み出したことである。第1章で見た通り、あらゆる道具が知能をもつようになっている。四ビットとか八ビットなどの、今では初歩的だと言われるマイクロプロセッサーを、徹底的に使いこなし、量産型の大衆商品を生み出したのである。

もう一つが、マイクロプロセッサーを産業技術にいち早く取り入れたことである。この点については、本書の後半でさまざまな周辺技術について述べるときに、そのつど触れるつもりであるが、マイクロプロセッサーが産業界に果たした功績は絶大である。ここではわかりやすい事例を一つだけ挙げておけば、それは自動車産業における溶接ロボットである。

ロボット登場以前は、マルチウェルダーという専用自動溶接機が使われていた。従来モデルチェンジのたびごとに莫大な投資をして、スクラップ・アンド・ビルドをしなければならなか

った。マルチウェルダーは、ある車種の専用設備だからである。さて、これが溶接ロボット時代になるとどうなるか。まるで首振り人形のような溶接ロボットを動かしているのは、ロボット一台一台についているマイコンである。それは、前ページの写真のように、キーボードで入力するだけでロボットがどのような動作もしてくれるのである。だから、車種がモデルチェンジで変わっても、溶接機を変える必要はない。それを駆動するプログラムを変えればよいだけである。こうして、ロボットの導入が設備のスクラップ・アンド・ビルドを不要にし、莫大なコストを削減することになったのである。工業がソフト化の時代に入ったのである。

しかも、こうした機械の自動化が低賃金を無力化していく。工業後進国が先進国に対抗する手段としては大きな武器とも言えた安い労働力が、マイクロプロセッサーの登場で次第に意味を失っていく。資本主義に対して〝技本主義〟(技術本位主義)という言葉がもし許されるならば、世界を〝技本主義〟に激しく変えていった大きな要因の一つが、マイクロプロセッサーの発達であった。

第5章

半導体関連技術の競演

■集まり競う最先端技術

まず、ある半導体工場の新年賀詞交換会の風景を見ていただこう。次ページの写真が、平成三年(一九九一年)正月に行われた三菱電機北伊丹工場の賀詞交換会である。集まって来た人々がおよそ一〇〇〇人、一社から二人ずつとしても五〇〇社。いずれも、この工場との取引き企業である。乾杯が済むと、人々は一斉に工場長の前に並んで挨拶の順番を待つ。ほとんどの参列者が、このあとに別工場の会場に飛んでいく。関係する分野は、シリコン材料、ガス、薬品、超純水、クリーンルームから数々の半導体製造装置まで、五〇〇種類を超える。

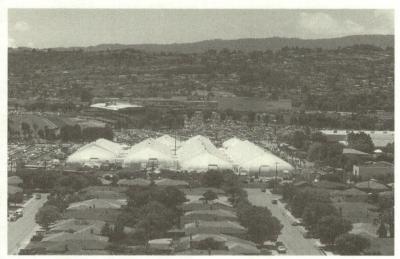
つまり、一つの半導体工場は、五〇〇以上の技術によって支えられていることになる。しかも、それらのすべてが世界的な水準でなければならない。

サンフランシスコから湾岸フリーウェイ一〇一号線を車で三〇分、サンマテオの町で毎年開かれるセミコンウエスト(SEMICON/WEST)は、半導体関連技術に関する世界的な展示会である。SEMI(Semiconductor Equipment Materials International:国際半導体製造装置材料協会)が、西海岸(West)で開催する大会(Conference)という意味である。参加企業は全世界から一〇〇〇社、うち日本企業が二〇〇社。開催中の三日間に詰めかける半導体関係者が五万人。その三分の一が日本からの客である。

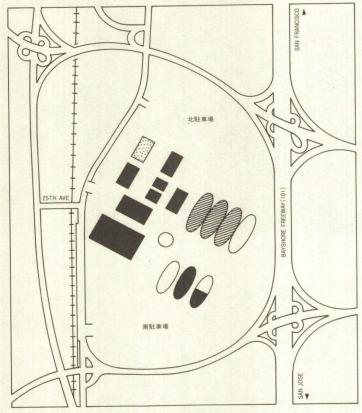
二〇二ページの写真Aはフリーウェイから見た会場での全景で、白いテントがパビリオンである。三日間の会期中、毎日会場は世界中から駆けつけてきた半導体関係者で賑わう。写真Bは、パビリオンの中の展示風景。会場全体は図20(二〇三ページ)のようになっており、広大な敷地に八つの常設展示館と八つの仮設展示館が配置されている。

三菱電機北伊丹工場の賀詞交換会

黒の部分が、シリコンウエハーにLSIをつくり込む前工程関連業種の展示場群である。シリコンウエハーを鏡のように仕上げるための研磨装置。ウエハーの測定器具。膨大な図形をシリコン表面に転写するためのさまざまな光学機器。フォトマスク。不純物の拡散のための拡散炉。結晶成長炉CVD。工場管理システム、など。これらの展示場には、大ざっぱに言って、ウエハーにLSIをつくり込むまでの、いわゆる前工程に関する技術が集められている。

斜線の区域が、後工程に関する技術を展示する会場である。たとえば、プロセスの終わったウエハーからチップを切り離すダイシング装置。リードフレームにチップを載せるダイボンディング装置、などの組立て関連装置。チップに金線をつなぐワイヤー・ボンダーなどの組立て関連装置。あるいはウエハーを人手を介すことなく正確に移動するための自動転送装置。製品を自動検査するICテスターなどのテスト関連装

A　セミコンウエスト会場の全景

B　パビリオン内部の展示

図20　セミコンウエスト会場配置

■前工程関連

ウエハプロセス装置
フォトマスク／ウエハーマスク
テストと測定
工場管理システム
コンサルティングサービス

▨クリーンルーム

▨テストと組立て

後工程のテスト関連装置
組立ておよびハイブリッド装置
パッケージ材料
ウエハーのハンドリング装置
ウエハーの移動転送収納装置

□ガス、薬品、各種材料

ウエハープロセス関連薬品
プロセス関連材料
ガスおよびガス取扱装置

C　展示品を隠そうとするエンジニア

置。さらには、パッケージ材料など。いわゆるプロセス完了後に処理する技術がここで展示される。

ゴマ塩模様の部分の展示場には、クリーンルームに関連するすべての技術が集められている。まずクリーンルームの建設。耐震構造。ゴミの出ない空気の流通。空気清浄化装置。超純水製造装置。冷却装置。排気排水処理装置。ゴミなどの微粒子測定装置など。ここには環境浄化に関する諸々の技術が集められている。

白地で示された部分の展示場には、ウエハープロセスに使ういろいろな超高純度ガスとガス制御装置。超高純度に精製された各種薬品や材料。ガスの制御装置と超高純度なガスボンベ。超高純度ステンレスパイプなど、半導体製造用のガス薬品材料などが展示されている。

こうしてセミコンウエストの会場には、世界各国の半導体製造装置および各種材料のメーカーが最新技術を持ち寄って、展示・実演をする

のである。まさに現代の最先端技術がここに集まり競うのである。

したがって、一般参加者はカメラの携帯は厳重に禁止され、私たち取材班も、撮影が厳しく制限された。特に展示物や実演風景の撮影は、出展企業の許可を得なければレンズを向けることさえできない。全部の展示ブースがおよそ二二〇〇ある。そのなかから重要なブースを選んで、あらかじめ撮影の許可を求めるのだが、取材価値のありそうなブースほど撮影を渋るのである。私たちがカメラを持って近づくだけで、係員が浮足立つブースも少なくなかった。

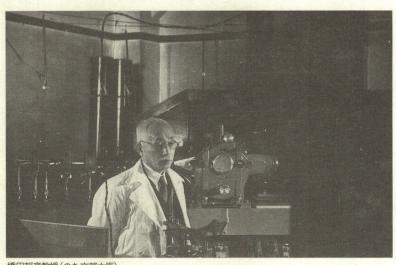
前ページの写真Cは、私たちがビデオカメラを持っていることを知ったエンジニアが、展示品をいち早く隠そうとしているところである。「セミガス」という会社は、半導体プロセスに使うガスの制御について世界的なノウハウをもっていた。ちょうどこの頃が、日本酸素がセミガスを買収するかしないかといった微妙な段階であった。そのせいもあってのことだったのだろうが、私たちの取材申請に対してはにべもなかった。それどころか、私たちがこのブースを離れるまで、重要な展示品を隠し続けたのである。

電気生理学がとりもつ半導体との縁

東京都北区の静かな住宅街の一角に、昔ながらの小さな町工場がある。高橋精機株式会社――。戦前から、大学の医学部で使う生理解剖用の道具をつくっていた。工場の中には、古びた旋盤にフライス盤、年季の入った工具の数々が所狭しと並んでいる。日本人がトランジスタ技術に取り組みはじめた頃、ここを頼って多くのエンジニアが訪れた。微細な加工をしなければならない半導体の道具な

ど、ここ以外にはつくってくれるところがなかったのである。

高橋　僕は今年（一九八九年＝平成元年）数えで九三歳です。

――この仕事をお始めになってから何年になりますか？

高橋　始めたのは昭和三年（一九二八年）ですから。

――えっ、昭和三年ということは御大典の年ですね、昭和天皇が即位された。

高橋　そう。あなたよくご存じですね。齢（とし）に似合わず。

高橋春雄氏

――高橋さんは、もともとご専門は？

高橋　薬屋ですよ。薬学部を出ているんです。

――えっ、薬屋さんですか、機械屋じゃなくて？

高橋　ええ。薬学を出てから、当時の内務省衛生試験所に二九の歳まで勤めました。当時は大学に新しい学部ができると教授は内務省から派遣されたんですが、京都大学に薬学部が新設されることになり、教授になっていく人から「おまえも一緒に来い」って言われたんです。ところが同じ頃、東京帝国大学医学部の橋田邦彦教授から声がかかりました。

――何をやるんですか。

高橋　あの時分、電気生理学というのがドイツから入って来まして、橋田教授がそれを手がけられていました。電気生理というのは細胞の微電流を測るのに、試料を精密微妙に動かす必要があったんです。

――それで、高橋さんが橋田教授から？

橋田邦彦教授（のち文部大臣）

高橋　いや、違います。父が橋田教授のところに出入りしていて、生理学の実験器具をつくっていまして。その橋田教授が、父に難しい機械を注文したんですが、父の手には負えなくなった。それで教授が、「君の息子ならできるんじゃないの」と声をかけてくれたんです。それがきっかけでした。

高橋さんの父君は、医学部に生理解剖用の道具をつくって納める職人であった。その息子として育った高橋さんは、東京薬科大学第二期生として卒業したあと、内務省の衛生試験所に奉職した。現・国立衛生試験所の前身である。そんな高橋さんが、父から家業を継いで東京帝国大学の橋田邦彦教授の仕事をしてほしいと頼まれた。機械についてはまったくの門外漢であったが、頼まれれば後にひけない江戸っ子であった。衛生試験所で高橋さんのもとで働いていた

ガラス工と木工の職人さんが、彼を慕って試験所を辞めて従った。二人の職工さんと高橋精機をつくったのが昭和三年、昭和天皇が即位された年であった。三一歳のときである。機械のことは、そのあと独学で身につけたのである。現在板橋区にある高橋精機の工場は、戦時中の疎開先であった。

高橋　ですから、橋田教授が僕の一生を決めてくれたようなもんなんです。大変立派な先生で、僕の生涯の師でした。先生のお考えから日常生活まで、私は非常に感化されました。正直なところ、私なんぞがここまでどうやら生きてこられたのも先生のおかげだと思っているんです。橋田教授は文部大臣にまで出世なさったんですが、戦後に自決されました。しかし私はあの方を、今でも、神様だと思っているんです。

当時の日本医学はドイツ医学を模範として多くを学んだが、なかでも当時先端的な分野と言われた電気生理学を日本に導入したのが、ほかならぬ橋田教授であった。枢軸国ドイツと深い関係ができた教授は、医学部長を経て、文部大臣に就任する。

戦前に活躍した多くの要人が敗戦直後に次々と自決して世を去られたが、橋田教授も同じ生き方をされたという。

昭和二〇年（一九四五年）九月一五日の『朝日新聞』の一面は、三人の要人の自決を伝えている。「小泉元農相割腹自決」、「吉本大将も自決」、そして「橋田元文相服毒自決」。その記事の概略は、こうである。

「戦争犯罪人として出頭を求められていた元文相橋田邦彦氏は十四日午後三時五十五分杉並区荻窪の私邸で服毒。午後四時十五分絶命した。鳥取県の出身で明治十五年三月生まれ。一高を経て東大医学科を卒業。翌年同医大の助手となり大正三年からドイツに留学。帰朝後東大医学部助教授に就任。同

九年医学博士となり十一年に教授に昇進。昭和十二年には医学部教授のまま一高校長を兼任。昭和十五年には第二次近衛内閣に文相として入閣。続く第三次近衛内閣、東条内閣でも留任。昭和十九年三月から教学錬成所の所長に就任していた」と簡単に略歴を伝え、自決の模様を次のように描写している。「橋田氏が自決する直前、荻窪警察署の有田署長が林特高主任を伴って橋田邸を訪れた。「お迎えに参りました」と署長が言うと、橋田氏が「どこに行くのでしょうか」と尋ねたので、署長が「神奈川県庁です」と答えた。すると橋田氏は、一旦奥に入って再び何ごともなかったように鞄を手にして現れた。「さあ出かけましょう」と靴を履きかけた途端、仰向けに昏倒した。

この橋田文部大臣に文部次官として仕えたのが、菊池誠さん(元通産省工業技術院電気試験所技官)の父上であったという。

高橋　橋田教授が文部大臣のときに文部次官をしていたのが、菊池っていう人で、菊池誠の親父ですよ。

——あの電気試験所のですか。

高橋　そう。

——まったく因縁話ですね。

高橋　因縁って言えば、東北大学の西澤なんて人も、親父が橋田教授のところに来ていた。その倅(せがれ)がまた半導体をやっているんだから。

——ああ、すると西澤潤一さんとも縁があるんですか。

高橋　いや、橋田教授と縁があっただけで、僕とはありません。ただ、二度ほど直接会ったことはありますがね。

九〇歳を超える老人の口にかかると、半導体の世界では大先覚者の一人である菊池誠さんも「頭の良い坊や」なら、しばしばノーベル賞の候補に挙がる西澤潤一さんも、橋田教授の知り合いの倅に過ぎない。まったく人間の縁というのは、どこでどうつながっているのか、不思議と言うほかない。

——そもそも最初はどんな注文だったんですか、菊池誠さんの話は。

高橋　あれは、戦争が済んで三年か四年たった頃でしたかね。菊池さんが勤める電気試験所で半導体研究会が開かれることになり、私も誘われて参加したんです。一週間くらいの講座でしたが、それがきっかけになりまして、皆さん半導体の人たちは微動機を知らなかったものですから、私がお手伝いすることになりました。僕のほうは生理解剖に使う微動機をつくっていましたので、それがそのまま半導体に使えたんですね。ですから電気試験所の菊池さんとか、日本電気の長船さんなんかに、マニュピレーターをつくってあげたんです。

——マニピュレーターっていうのは何ですか。

高橋　日本語で言うと微動機なんですが、試料をX軸、Y軸、Z軸、縦横上下に精密に動かす道具なんですね。これをつくってやったんです。

——商売抜きで？

高橋　商売抜きですね。困っている人を助けてあげるのが楽しくてね。ですから、私にとっちゃ功徳(くどく)を施すようなもんでしたよ。

どうやら高橋老人は、気が向けば実費割れのする仕事も引き受けたようである。現在のように半導体事業が各企業の主力部門になる、はるか以前のことである。なけなしの予算で注文だけは煩わしいことを言う半導体関係者には、功徳を施すつもりでもなければとても付き合っていられなかったに違

いない。トランジスタをやりたいと上司に申し出たら、「今日の飯も食えないときに、あさってのディナーの話をするやつがいるか」と叱責された日本電気の長船廣衛さんなどは、高橋さんの功徳にしばしばすがったという。

高橋　あのね、江崎って人がいるでしょう、東京通信工業に？

——はて、江崎さんですか。

高橋　あの人ね、外国から買ったカッターが切れないって相談にきたことがあった。聞いてみたら使い方がなっていない。江崎って人も不勉強だったね、機械については。

——あのー。ひょっとして、江崎さんっていうのは、あの江崎玲於奈さんのことですか。

高橋　そうですよ。

——ノーベル賞の？

高橋　そう言えば、そんな賞をもらったとか聞いたな。だけど機械は彼が考えたわけじゃない。英国製だったもの。

——そりゃ、そうでしょう。機械工学の人じゃないんですから、物理学の人ですから。それも偉大な科学者ですよ。

高橋　でも機械のこと全然わかっていなかったなあ。「切れない、切れない」ってぼやくんだもの。「輸入までして購入したのに、こんなに切れないとは思わなかった」なんて言って。だから僕が言ったんですよ。「あなたの使い方が悪いんですよ、六〇〇〇回転で回しなさい」ってね。ところが彼は「六〇〇〇回転は速すぎやしないか」とか言って、とても頑固なんだもの。

――ノーベル賞の頭脳も、高橋さんの独学にも及ばなかった、機械では？

高橋　そう。僕はぜーんぶ独学なのにね。

御大典にちなんだ商標「タイクン」

高橋さんは微動機(写真A)のほかにも、電気試験所やメーカーのためにいろいろな機械をつくった。結晶棒の切断機(写真B)は、今も研究所などから注文がくるベストセラーである。細いステンレス線に研磨剤をかけながら結晶棒を切るワイヤー切断機(写真C)。切り出した結晶の断片を鏡のように磨く卓上研磨機(写真D)。いずれも、トランジスタ時代の研究者たちにとっては、ありがたい装置であった。

しかし、半導体業界はすぐに量産時代に入っていく。そこでは、純度の高い材料、ガス、薬品、それに同じ加工を迅速に正確に大量にこなす量産装置が必要になった。

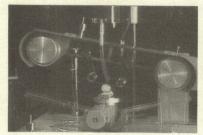
――この機械は、今までに何台売れたんですか。

高橋　四〇〇台近くですね。ロシアにも五台売れたんだから。

――高橋さん、この商標「TYCOON」って変わっていますね。

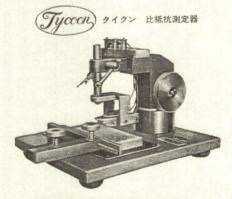
高橋　僕は、世界でいちばん尊敬しているのがね……。

――橋田教授。

高橋　橋田教授は二番目。一番は、おそれおおくも昭和の天皇陛下です。それで「TYCOON」は、「タイクン」と読む。「タイクーン」じゃない。語源は「大君」なんです。

C　ワイヤー切断機

A　微動機

D　卓上研磨機

B　結晶棒の切断機

E　G－6型簡易比抵抗測定器（高橋精機）のカタログ

――えっ、「おおきみ」の大君ですか。

高橋　僕が機械を最初につくったのが昭和三年の御大典の年で、おそれおおくも天皇陛下が即位された年だったからね。

――じゃあ商標は、戦前から？

高橋　当たり前ですよ。それが、アメリカにも似たような商標の会社があって、戦後進駐軍が商標侵害だから変えろって言ってきた。馬鹿言うんじゃないよ。こっちはおそれおおくも天皇陛下の意味なんで、戦前からある商標なんだ。冗談じゃないってんで断ったんだが、そりゃあ、すったもんだしましたよ。

――あちらの商品は何だったんですか。

高橋　何だったか忘れたけど、当時のアメリカ人は横暴だったんだ。ロシアも嫌いだけど、アメリカも嫌いだったね。勝ち誇った顔して、わがもの顔でのし歩いていたんだ。

――でも、ソ連には機械を売ったんでしょ、五台も。

高橋　商売は別よ。

論より証拠で、一枚のパンフレットを見ていただこう。高橋精機工業株式会社製のG-6型簡易比抵抗測定器のカタログには、写真Eのように、大きな商標がついている。楕円の中に英語の筆写体で「TYCOON」、その横にカタカナで「タイクン」とある。高橋老人がしきりに自慢する戦前製の微動機があった。これにもTYCOONの商標がついている。

高橋　これには、顕微鏡なかったかな？

――顕微鏡がつくんですか。

高橋　ええ。顕微鏡つくんですよ。これ、メーカーよりも研究室に売れましたね。メーカーは最初は買ったんですけれど、一個一個、測るんじゃ大変でしょ、手間が。量産向きじゃなかった。それでメーカーより研究室に売れました。

――これは、いつ頃の設計ですか。

高橋　いつだったかな、もうだいぶ前ですよ、これは。これと同じものがNHKにも行ってるんじゃないかな。そう言えば、予算がないから安く負けてくれって言ってたなあ。まったく僕のところに来るのはみんな予算がないとこばかりさ。

――それで功徳を施して。

高橋　そうよ。だから負けてあげて、お山のてっぺんまで持っていったんだもの。

――えっ、お山のてっぺんですか。

高橋　そうよ、本店だよ本店。

――あっ、愛宕山(あたごやま)の。昔のNHKですね。

NHKに納品したと言われるので、てっきり世田谷区砧(きぬた)にある技術研究所とばかり思って聞いていたら、「お山の上のNHK」だと言うのである。昭和の初め頃、NHKの放送所は港区の愛宕山の山頂にあった。古い時代の話である。

――そんな大昔のことですか。

高橋　そうですよ。ラジオの放送が始まった頃だもの。なんでも、時報を正確に出すのに必要だとか言っていたがね。あれをどう使ったのかねえ。そう、大昔のことさ。

――いかがですか、九三年に及ぶ人生を振り返って？

高橋　私は生まれたときは未熟児だったんですよ。それがここまで生きれば充分。この程度のやつがこれだけ生きてこれれば、幸せじゃないですか。欲はまだありますがね。

――半導体の世界はいかがですか。

高橋　半導体はもういやですね、興味ないですね。もう心意気で仕事をするという気風じゃなくなってね。

――巨大な装置産業になってしまって、功徳を施すには大き過ぎますか。

高橋　機械や何かでも、あそこの会社が儲かるからそれを真似しようっていう、そういう気持ちはいっさいありませんね、あたしゃ、いやなんですよ。人の真似してその利益を横取りしようってのは、江戸っ子のすることじゃないからねえ。

――江戸っ子ですか。

高橋　私は生粋(きっすい)の江戸っ子ですから。先祖の墓が本郷にありますので、私が生まれたのは本郷龍岡町ですから。今は東大の敷地の中になってしまいましたがね。橋田教授のお墓も本郷にありますしね。ですから、死ぬときも本郷でと思って、本郷に家を買って引っ越そうかななんて思ってるんですがね。そうすれば朝晩、先祖のお墓参りできますからね。北区じゃ死にきれない。ここは江戸じゃないですから。

――高橋さんは最後の江戸っ子ですか。

高橋　そう、最後の江戸っ子。だからあたしゃ、「あれ」が儲かると言っては「あれ」、「これ」が儲かると言っては「これ」なんていう生き方はいただけないねえ。潔くさっぱりと、飛ぶ鳥跡を濁さずでいきたいねえ。

ないない尽くしの半導体産業

日本の半導体産業が始まった頃は、ほとんどすべてのものがなかったと言ってよい。何よりも肝心のゲルマニウム。それを溶かす石英炉。炉に入れるためのグラファイト容器。ガス。超純水。薬品。微細なトランジスタを微妙に動かすマニピュレーター。トランジスタの電極と端子の間をつなぐ金線。そして、それらを加工するために必要なさまざまな機械装置。あらゆるものがなかった。

当然のことながら、ほとんどの材料や装置を半導体先進国のアメリカから輸入した。国内のメーカーに頼みに行っても、門前払い同然で相手にされなかったのである。

日本電気の玉川事業所で生産技術に長く携わった鈴木政男さんは、苦しかった当時の思い出を次のように語っている。

鈴木　なにせ昭和三〇年代後半は日本の経済が高度成長期で、「重厚長大、大きいことはいいことだ」の時代でしたから。鉄道、船舶、重化学工業など巨大産業の全盛期。それに比べれば半導体業界なんてのは、吹けば飛ぶようなものでしたから、そんなものの専用機械をつくってくれなんて、頼んでも相手にされない時代でした。

――なるほど。

鈴木　日本の大手のメーカーには、いつも玄関ばらいでしたね。たとえばトランジスタの電極と端子との間をつなぐ金のワイヤーね。当時の日本では、あんな細い金線なんかどこもつくってくれなかった。かくかくのために新しくトランジスタ用につくってくれませんかと交渉に行きますと、「何トン必要なんですか」と聞かれて、「実は数キログラムです」で、チ

ョン。

――チョンですか。

鈴木　トンですよ。われわれが使うのはせいぜい五キロか一〇キロ。それなのに、要求だけが桁はずれで「太さを三〇ミクロンにしてくれ」ですから。これでは相手にしてもらえませんよ。それでしようがないから、アメリカの「セコム」なんていう有名な金線メーカーから輸入しようとした。ところが、輸入は、外貨を特別に大蔵省から割り当ててもらわなければできない。ところが、相手は石頭ですから、「この外貨不足の折に金のような贅沢品をなぜ輸入するのか」と来た。

――アハハハ。

鈴木　それから、ボンディングの機械だって、やっと応接室に入れてもらって商談に入ると、「何台要るんですか」、「せいぜい一〇台」、なんて。しかも、あらゆることにモデルがないんだから。今までの既成概念では想像もできないほど「うんと細くしろ」とかね、「うんと速くしろ」と要求だけはやたらうるさい。これじゃ、どこも機械つくってくれないわけですよ。

――わかりますね。

鈴木　だから、あの時分は小さなメーカーさんを探して「これは将来必ず儲かるよ」なんて心にもないこと言って、だまくらかしたり、ちょろまかしたりしてね。僕が今いるこのミナトエレクトロニクスも、NECが無理やり仕事を押しつけてね。いやだ、いやだとブーたれて抵抗してましたが、今や「世界のミナト」ですから。

日本の半導体製造装置メーカーは、多くが零細な家内工業から始まっている。半導体メーカーの無

理難題を押しつけられて悪戦苦闘しているうちに、半導体産業の成長とともに飛躍していったのである。専門分野では世界市場を牛耳るほどの力をつけている今、彼らの多くがしばしば「○○さんには大変可愛がっていただきました」と口にするのだが、これは「非常な無理難題を押しつけられた」と同義語である。もちろん、不承不承でもそれをやり遂げたからこそ、半導体メーカーとの関係が長く続き、共に繁栄の道をたどったことは言うまでもない。

鈴木　国内じゃ相手にされないから、すべてのものをアメリカから輸入するというのが基本でした。昭和三〇年代は、二か月に一度はアメリカにだれかが出張していました。日本の競争社会っていうのは、何でも他社に先駆けて新しいものを導入しないと負けてしまうから、アメリカで開発される新しい機械を、なるべく他社より速く発掘して手に入れるのが競争に勝つ第一歩でした。新しいものを積極的に購入しないと、やがては負ける。そんな危機感から、どこの会社も八〇パーセントから九〇パーセントは、輸入機械で占められていたわけです。

――転換点は？

鈴木　昭和四三年の第一次ドルショックを契機に、日本の産業界が少し変わりました。重厚長大産業が衰退しはじめて、産業界が割合にいろんな分野に参入を始めた。六年後の昭和四九年に九州日電が設備投資をやったんですが、装置の九〇パーセントが国産化していました。しかも、それでつくった九州日電は、世界的な水準のＩＣ工場になっていました。

――六年間で世界的水準！

チップを切る刃の開発

ＩＣ時代に入って急成長を遂げた中小企業が、いくつかある。その一つが、ディスコ社である。シリコンウエハーにつくり込まれたＬＳＩチップを切り離す機械「ダイシングマシン」では、世界市場の七五パーセントを押さえている。

二二二ページの写真Ａは、シリコンウエハーの表面につくり込まれたＬＳＩである。碁盤の目のように並ぶ方形のマス目一個が、ＬＳＩ一個である。それがざっと数えて四〇〇個並んでいる。これを一個一個のチップに切り離していく装置が、ダイシングマシンである。

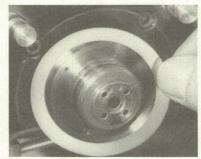
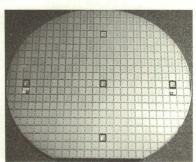
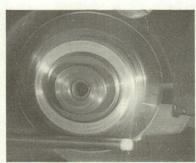
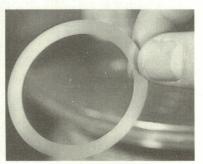
写真Ｂは、ダイシングマシンに回転軸に取りつけて使うリング状の刃である。その厚さが、五ミクロンである。

ちょうど、台所にある厚めのアルミホイルのような感触である。ただ、アルミホイルのようにグニャグニャと軟らかくはなく、非常に硬く、弾力性に富んでいる。リングを持ったまま上下に振ってみると、刃はカシャカシャと乾いた音を立てた。これが、ウエハー表面につくられた数百個のチップを切り分けていく。

ちょっと回り道になるが、まずその製法から紹介しよう。原料は、薄茶色の粉末ダイヤモンドである。これを一定量だけ鉄製の型枠に入れ、蓋をして、二〇〇トンのプレス機械で押し固める。圧縮を終え、型枠から取り出すと、ダイヤモンドの粉末は、厚さ〇・五ミリほどの茶色のリング状に圧縮されている。これをさらに、高熱炉の中で圧縮しながら焼き固める。八〇〇度の温度で三時間圧縮すると、粉っぽかった茶色のリングが金属の光沢を放つようになる。これが厚さ五ミクロンの刃。世界で

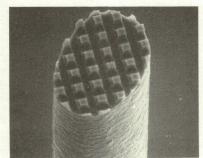
ディスコ本社

最も薄いダイヤモンドカッターである。茶色の粉末の成分は、ダイヤモンド以外は秘中の秘だという。

さて、この刃の威力を見せてもらうことにする。写真Cは、ディスコ社のアプリケーション開発課のお嬢さんが一本の髪の毛を抜いてカメラに向けているところである。両手で毛髪をピンと張っているのだが、細くて見えない。これを、写真Dのように、ダイシングマシンの回転軸に固定する。一方、女性の毛髪はいったん輪切りにして、それの断面を上にしてパラフィンで固定する。それをダイシングマシンにセットし、写真Eのように切っていく。写真Fが、二五等分に切断された毛髪の断面である。ちなみに、女性の毛髪は太さが七〇ミクロン（〇・〇七ミリ）である。

一枚のウエハーからなるべく多くのチップを取ろうとして、LSIメーカーは、ウエハー上には可能な限り多くのチップを載せようとする。

A　シリコンウエハー表面のＬＳＩ

B　ダイシングマシンの回転軸に取りつける刃

C　ピンと張った毛髪は見えない

D　刃を回転軸に取りつける

E　毛髪を切断する

F　25等分に切断した毛髪の断面を切断

当然の帰結として、チップとチップの間隔がどんどん狭くなる。しかも、その狭い〝廊下〟に、最近では、試験用のテスト回路などつくり込んだりするので、刃が走る幅はさらに狭くなっているのだという。こうしたきわめて狭い間隔の中を、刃が正確に走っていくには、厚みが薄いほど有利である。かといって、すぐに破損したり切れ味が落ちては意味がない。だから、半導体産業では、薄くて丈夫で切れ味の落ちない刃がひっぱりだこになる。刃の性能が、半導体工場の生産性を決定的に左右するからである。

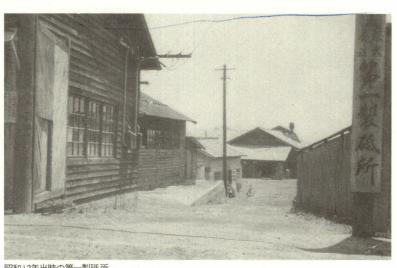
ところで、ディスコ社の皆さんは刃のことを私たちのように、刃とはあまり言わない。砥石(といし)と呼ぶのである。物の切断や研磨に使う刃のことを、併せて砥石と総称しているようである。砥石と聞けば、包丁やナイフを磨く石のことしか思い浮かばない私たちには、しばらくはなじみにくい言葉であった。

広島県の呉市には、戦前、海軍工廠(こうしょう)があった。おそらく当時は、日本一のハイテク都市であったに違いない。軍艦に搭載するさまざまな兵器を加工するために、さまざまな先端技術が集まっていたのである。海軍工廠で最も精密な加工は、軍艦に使う高射砲の研磨であった。いわゆる、砲身の中を磨く内面研磨である。この作業の砥石が、いちばん高級で精密な砥石。これを供給する砥石メーカーが、海軍工廠の周辺にひしめいていた。

関家三男氏

ディスコ社の前身、第一製砥所の創業者、関家三男(みつお)は呉市に生まれた。長じて満州(現中国東北部)に渡り、官吏になったが、役人にいや気がさして郷里に帰ってきた。野心家の彼は、いつの日か自ら事業を興したいと願っていた。そんなとき、友人の会社が砥石で大きく儲けていることを知った。彼の関心は、砥石業に釘づけになっ

昭和12年当時の第一製砥所

た。そんな折も折、一人の職人が自分の技術を売り込みにやって来た。渡りに船。これがきっかけになって、関家三男は砥石メーカーを始めたのである。

彼がまず最初にやったことは、ただ同然の使用済み砥石を集めて歩いたことである。これを崩して粉末にして、再び砥石に固めて売り出した。こうして第一製砥所が、スタートした。昭和一二年のことである。やがて、終戦を迎えた。戦後、東京に出た関家三男は、一つの会社を工場ごと買い取った。研削砥石を製造販売する会社であった。そこがもっていた技術が、粘土焼結法。粘土に研磨剤を加えて練り合わせ、薄く延ばして円盤状にする。それを一二〇〇度から一三〇〇度で焼き固めて、円盤状の砥石をつくった。関家三男は粘土の代わりに樹脂を使って、研磨剤を固めてみた。

ベークライトとも呼ばれたフェノールレジンという樹脂は、すでに戦前から登場していた。

関家三男は、フェノールレジンに研磨剤を入れ、粘土状に練って（写真A）、それを圧延ローラーで薄く延ばし（写真B）、円形に切り取って（写真C）、炉に入れて焼き固めた。樹脂は粘土よりははるかによく延びた。ローラーの間隙を狭くすることで、樹脂はどんどん薄くなった。ローラーのかけ方次第で、樹脂の厚さを非常に薄くできたのである。薄く延ばした樹脂を円形に切り出して、炉で焼き固めれば、薄い砥石になった。こうして、当時としては非常に薄型の、厚さ一ミリという砥石をつくることができたのである。この砥石を、さてどこに売り込めばよいのか。現在ディスコ社の社長である関家憲一さん（五四歳）は、創業者のご長男である。当時はまだ少年であった二代目社長は、父の成功談を何度も聞かされていたにちがいない。

関家憲　終戦直後、私どもの会社が開発した厚さ一ミリの、当時でいう精密砥石が何にいちばん

A　研磨剤を粘土状に練る

B　圧延ロールで延ばす

C　円形に切り取る

厚さ１mmの精密砥石

使われたかと申しますと、家庭用積算電力計の磁石を切るのに使われました。

――要するに、各家に一個ずつある電力メーターですね。

関家憲　そうです。家庭で使った電力使用量を見るための装置ですね。中をのぞいてみると、銀色のアルミ円盤が回転していますね。その円盤は電磁石の鉄芯で上下から挟まれていますが、その口の字形の鉄芯の一端をアルミ円盤が通る厚さに切って隙間をつくるのに、わが社の精密砥石が使われたんですね。確か、アルミ円盤が一ミリ以下でしたから、厚さ一ミリの精密砥石がぴったりだったんですね（写真上）。

――なるほど。

関家憲　電磁石の鉄芯を、誤差プラスマイナス一〇〇分の一ミリ以内で精密に切断できる砥石は、当時はわが社の製品しかなかったのです。と言いますのも、樹脂を粘土状にしてローラーで圧延しながら薄い砥石に仕上げていくという製法があまり世の中になかったものですから、薄くて精度のいい砥石をつくれるのは私どもの会社だけでした。ですから、薄型精密砥石の分野では私どもの製品が

市場を独占することになりました。

——儲かりましたか？

関家憲　わが社が戦後に初めて大きく儲けたヒット商品でした。何しろ、灰になった都市が復興していくわけですから、住宅建設の大ブームが起きまして、一戸に一個は電力計がつきますので、風が吹けば桶屋が儲かる式に、精密砥石も大増産に次ぐ大増産でした。その頃は私は大学生でしたが、工場に精密砥石を納入に行ったり、集金を手伝ったり、忙しかった記憶がありますから。このブームがおそらく昭和三〇年前後まで続いたと思いますね。

——家が一軒建つたびに、電力計が要るんですからね。

関家憲　はい。

関家憲一氏

関家臣二氏

〃一〇〇ミクロンの壁〃を超えた刃

この薄型砥石に魅せられて、切断マニアになった人がいる。砥石を回転軸に取りつけて、大きな物から小さな物まで手当たり次第に切りまくった。それが、ディスコ社代表取締役副社長の関家臣二さん（現在五二歳）、創業者の次男で、現社長の弟さん。当時入社したての若者であった。

関家臣　入社したときは、何の専門知識もありませんでしたが、やってみると切るということは非常におもしろくなりました。薄くておもしろい砥石を使って、いろんなものを切ってみましたら、切れる切れる、何でもよく切れるんですね。すっかりおもしろくなっちゃった。お客様からも「こういうものを切りたいんだけど」なんて相談がありますと、帰ってからいろいろ実験してみる。切れるまでやってみるんですね。そうすると、切るということについての経験や知識がどんどん身についていったんです。こうしたことを、六年から七年も続けました。それは非常におもしろかったですね。とにかく、条件をいろいろと変えてみると、切れる要素がどんどん変わっていくんですね。ですから見えるもの思いつくものを、手当たり次第に何でも切ってみましたね。

――たとえば、どんな物をですか。

関家臣　それこそ道に転がっている石ころ。ビール瓶(びん)などの瓶類（次ページ写真A）。都電の車軸。ビルのコンクリート（写真B）。とにかく、小さいものから大きいものまで、あらゆるものを切りました。都電の解体をやったときなど、こちらは構造のことなどわからずにやりますから、車体の柱を切って、いきなり屋根が落ちてくる。そうすると、切断機がガーンとエンストするわけですよ。それでも割れない砥石をつくらなければいけない。どうやったら薄くて丈夫な砥石をつくることができるか、いろいろやってみるんです。そんなことを繰り返していくうちに、切断についてのノウハウが身についたんですね。

――なるほど。

関家臣　そのうちに、高価な材料を無駄にしないで切りたいというお客がたずねて来るようにな

A　瓶類を切る

B　ビルのコンクリートを切る

った。しかも、精度よく切りたいというお客さんが多かったんです。簡単なものだったら、従来の砥石でも何とかなったんでしょうが、それがうまくいかない。それで噂を頼りにやって来るんですが、ウチの砥石でやってみると、おもしろいように切れる。切れるとおもしろいから、雪だるま式に切ることがおもしろくなっていっちゃったということですよね。

大きなものから小さなものまで切りまくった切断体験を通して、関家さんは砥石と切断についての豊富な知識を蓄積できたのである。

これがやがて、大きくものを言うときがくる。

復興が一段落して住宅建設も終わると、一挙にブームが去った。昭和三〇年代に入ると、電力計の需要は急速に減り、電力計をつくっていたメーカーが、次々と潰れはじめた。もはや戦後ではないなどと言われた時代である。兄の関家憲一社長は、次のように回想する。

関家憲　そう。私が大学を卒業して昭和三五年に入社する頃には、ほとんど需要がありませんでした。専門の磁石メーカーがバタバタと潰れたのも、その頃でした。

——会社の危機ですね。

関家憲　積算電力計のブームは去りましたが、精密切断ができる第一製砥所の名声は残りまして、次々と仕事が舞い込みました。何しろ、当時はどこにも私たちのような製法で砥石をつくる会社はなかったですから、精度の高い切断が必要なら、第一製砥所に頼めということになっていたんです。〝精密切断の第一製砥所〟という企業イメージができてしまったんですね。

――なるほど。さて、第二の儲け口は何ですか。

関家憲　昭和三〇年頃のことですが、万年筆のペン先を切る砥石をつくってくれないかという話がパイロット万年筆さんから舞い込みまして、今度はそれにチャレンジすることになったのです。ぼつぼつ積算電力計用のブームが下火になりはじめていまして、逆に万年筆の需要がもち上がってきていました。

――なるほど。住宅ブームと万年筆ブーム。こりゃ、因縁深い。復興住宅のなかで子づくりに励んだベビー・ブームが万年筆を使うような年齢になったというわけですね。

関家憲　アハハハ。そう言われればそうですね。

当時の日本の万年筆メーカーさんたちがやっていた製造法は、銅板を直径一〇センチぐらいの円板をぐるぐる回して、その上から水と研磨剤を垂らしながら、銅の円板の上を研磨剤が走ってくる、それで擦り合わせながら切る、といった原始的な方法であった。

フェノール・レジンに研磨剤を入れて練り合わせ、ローラーにかけるというディスコ社特有の方法をさらに改良して、ついに厚さ一四〇ミクロンの砥石ができた(次ページ写真A)。これは、当時としては超薄型の砥石であった。それが、万年筆業界に爆発的に売れていった。写真Bは、万年筆メーカー

のペン先カッター。写真Cは、砥石がペン先を切っているところである。

続けて、兄の関家憲一社長が語る。

関家憲　当時の日本製万年筆は、インクがポタポタ垂れて困りましたよね。これは、ペン先の溝の精度が悪くてペン先がインクを保持できなかったからなんですね。ところが、イギリスでもうすでにペン先の溝を薄い砥石で切るという技術が出ておりまして、パイロット万年筆さんが英国の工場を視察されてきて、「日本でもペン先を正確に切れるほどの薄い砥石ができないか」と、私どものところに相談をもちかけてきたというわけです。

——今度は、砥石の厚みはどのくらいですか。

関家憲　先ほど電力計の場合が厚み一二〇〇ミクロン（一・二ミリ）でしたが、今度は一四〇ミク

A　厚さ140ミクロンの超薄型砥石

B　万年筆メーカーのペン先カッター

C　砥石でペン先を切る

ロン（〇・一四ミリ）で、電力計用のおよそ一〇分の一の厚みにしなければいけませんでした。が、これは苦労はしませんでした。比較的短時間に完成して納入できました。ところが、パイロット万年筆さんが成功すると、他社も一斉に右へ倣えで、おかげ様で日本中の万年筆のペン先は、一〇〇パーセント私どもで切らせていただいたということでございます。当社もまだ、小さな規模の会社でしたので、売上の大半が万年筆メーカーという時代が長く続きました。

――まったく、ついていますね。

関家憲　つきもありますが、なんと言いましても技術でございます。他社にない技術をもっていたからこそ、つきも呼べたのではないかと、私はそう考えているんですが。

――失礼しました。

やがて、万年筆ブームが去った。それと相前後して、昭和三七年頃にトランジスタを切る話が舞い込んだ。ウエハー状のシリコン板に搭載されたトランジスタを切り分けるための砥石として、万年筆のペン先切断用の砥石が使えないか、という相談であった。

間もなく、半導体業界は集積回路の時代に入った。ウエハーに搭載した数多くのＩＣを迅速精密に切り分けるためには、もっと薄型の砥石をつくってほしいとＩＣメーカーは強く要望した。

兄の関家憲一社長が語る。

関家憲　一〇〇ミクロン以下にしてほしいと言うんですね。一〇〇〇ミクロンから一〇〇ミクロンにするのは、そう大変でもなかったんですが、一〇〇ミクロン以下にするというのは非常に苦労しました。当時は、私たちは〝一〇〇ミクロンの壁〟と呼んだものですが、一〇

〇ミクロンを割るのに大変な苦労をしました。社内でも一〇〇ミクロン以下の砥石など不可能だと言う人も出てきたりして、一時は、やはり無理なのかと思ったこともありました。しかし、何とか厚さ七〇ミクロンの砥石が試作できて、日立さんに評価していただいたら、「かなりおもしろそうだ」と言われまして、それならば、と張り切ったわけです。こうしてＩＣ専用のダイシングブレード（砥石）が生まれてきたわけです。

――いつ頃のことですか。

関家憲　昭和四二年にでき上がって、翌年の昭和四三年に「ミクロンカット」という名前で発表させていただきました。

弟の臣二副社長の話は少し違う。――厚さ一〇〇ミクロンより薄い砥石ができたから使ってみてくれ、と広島の工場から言ってきたのが、ミクロンカットの始まりであった。厚さ七〇ミクロンぐらいの砥石であった。それも、意図してつくったのではなく、たまたま広島の工場が興味本位で薄くつくってみた。それを社長から「ちょっと使ってみてくれないか」と言われた、副社長の切断心が疼きだした。

彼は、まずシリコンウエハーを立てて手で切ってみた。これは、実によく切れた。今度は送り機構のついたテーブルにウエハーを載せて、手で送りながら切ってみた。これも結構よく切れた。そこで今度は、送り機構にモーターをつけて、機械で送りながら切ってみた。すると、何枚か切っていくと、やがて切断線が曲がりだした。よく見ると、砥石の面が目詰まりを起こしてピカピカ光っている。これは、練り合わせる研磨剤そのものを変えなければ駄目だと気がついた。普通のシリコンカーバイドのような塗料では駄目で、ダイヤモンドに変えてくれと頼んでみた。粉末ダイヤモンドを成形して焼

超薄型砥石「ミクロンカット」

き固めてみると、砥石は予想をはるかに超えて切れるようになり、切れ味が持続した。これが、超薄型砥石「ミクロンカット」であった（上の写真）。

弟の臣二副社長が語る。

関家臣　ところが、私たちの開発した超薄型砥石は性能抜群だと自負していたんですが、どこもなかなか信用してくれませんでした。「国産も立派なものができたから使っていただけませんか」とお客様に勧めるんですが、お客様は「日本製は怖いから、いやだよ」って尻込みするんです。それで私は、「じゃあ、あなた切ってください。私が砥石の目の前に座ってますから」と言って勧めたんです。お客様が「そんなことをやって破裂したら、あなた、命を落としますよ」と言うのを、無理やり説得したんです。

――どうやってですか。

関家臣　ウチは人が死ぬような砥石は売りませんから、やってください、と言って砥石の目の前に顔を置いて切ってもらった。やってみると、何事もなくスムーズに切断できる。と、お

客様は「本当だ、これは割れないや」ということで買っていただけた。

——しかし、破裂しなくてよかったですね。

関家臣　これはもう、絶対に自信がありましたから。といっても、万が一割れたら最低失明くらいはするなと覚悟したけどね（笑）。

〝砥石屋〟から切断機メーカーへ

超薄型の砥石ができたので、アメリカでも売ろうということになった。現在のシリコンバレーと呼ばれている地域の町に販売会社を設立し、日系二世を社長に据えて販売を開始した。まず、アメリカのエレクトロニクス関係のショーや展示会に出したら好評であったので、さぞ売れるだろうと注文を期待した。何しろ、当時の半導体先進国のアメリカが興味をもって迎えてくれ、しかも評判がよかったのだからきっと大量の引き合いがくるに違いない、と考えた。しかし、注文はほとんど来なかった。実に三年間も販売活動を続けたがさっぱり売れず、結局会社を閉鎖して日本に引き揚げた。この体験がそれまでの考えを変えるきっかけになった。

関家さん兄弟がそれまで考えていたことは、「砥石メーカーというのは良質の砥石を世の中に供給させていただけさえすれば、あとは砥石を装着する機械のほうは機械屋さんがつくって供給してくれるだろう」ということであった。装置をつくるのは砥石屋の仕事ではない。機械は機械屋がつくり、砥石屋は優れた砥石だけを供給すれば、あとはユーザーがそれを組み合わせて使うに違いないと考えたのである。

次は、兄の憲一社長が語る。

関家憲　ところが、半導体産業というのはまったく新しい産業で、何から何まで基準が違うんですね。砥石に対する精密度も、装置に対する要求度も、それまでの常識が通用しない。砥石も装置そのものも全部新しくつくられていくものだったんですね。砥石を使って半導体を加工する既存の装置なんて存在しないんですから。結局、砥石のことをいちばんよく知っているわれわれが、専用機のいいものを開発しなければいけないはめになっちゃった。そうしないと、肝心の砥石を使ってもらえないわけですから。

そればかりではない。悪いのはすべて砥石のせいにされた。砥石屋の目から見れば明らかに機械の設計ミスだとわかっていても、機械屋は、単なる消耗品の砥石屋の言うことなどに耳を傾けようともしないのである。機械の不備で切れないのに、その責任を砥石のせいにされてはたまらない。

弟の臣二副社長が、その悔しさを述懐する。

関家臣　砥石づくりに熱中していた時代は、砥石を装着して回転させる切断機は数十万円から一〇〇万円ぐらいの機械でした。私たち砥石屋がついでに売っていたような簡単な装置で、お客様もそれなりに満足してくれたんですが、半導体メーカーが客となってからはそうはいかなくなりました。他の客なんかとは、比較にならないほどの精密さが要求されたんです。あまりの精度に一時は、ウチは何も半導体用の機械などつくるつもりはないんだから彼らの要求などに応える必要はない、とも思ったんですが、困ったことが起きてきた。

――それは何ですか。

関家臣　当時、切断装置は日本の大手の半導体メーカーさんが一社、アメリカで二社が製造して

いました。彼らがウチの砥石を使ってくれたんですが、悔しいことに、何でもかんでも悪いことはすべて砥石のせいにされてしまうんですね。砥石の特性はこれこれですから機械にはこういう条件を盛り込んでくださいとお願いしても、彼らは砥石屋の要望なんかどこ吹く風で自分たちの都合だけで装置をつくって、挙句の果てに砥石が悪い……。

――それはたまりませんね。

関家臣　砥石が悪いから曲がって切れるんだ。もっと強い砥石をつくれ、と言うわけですね。あるいは、もっと摩耗しない、切れ味が長続きする砥石をつくれ、と。何でもかんでも砥石に皺(しわ)寄せしてくる。

――悔しくて？

関家臣　はい。それでやむをえず、私たちの砥石の性能をフルに発揮できる機械を自分たちで開発してみようということになったんです。だって、砥石が求める条件さえ守れば、曲がりもしなければ、切れ味も衰えないんですから。私たちに言わせれば、機械さえよければ抜群に高性能な切断装置になるはずなんですね。

弾丸が優秀でも、肝心の銃が不良では命中しない。命中しないと、弾丸の優秀さを証明できない。そこで、弾丸屋が弾丸を活かせる銃をつくろうということになった、というわけである。

最初は、工作機械メーカーや、それに関連したようなメーカーにもお願いした。しかし、どこも他社のためにわざわざ新しい装置を開発しようなどと考えなかった。ディスコ社の砥石を中心に考えた装置の開発など、どこも引き受けてくれなかった。装置メーカーが消耗品としての砥石を開発してほしいというのではなく、消耗品メーカーが消耗品に合った機械を新しく開発製造してほしいというの

である。そんなことは、とうてい考えられなかったのである。

▨旧海軍の実力派設計の壮絶な試作機

そこで結局、装置の開発をディスコ社の費用でまかなうことにした。試作砥石の試験をするための実験機をつくってくれた埼玉県川口市の町工場に、設計試作を依頼した。設計者は旧帝国海軍の仕事もしたことがある実力派だ、と聞かされた。日本中の万年筆メーカーが、そこの機械で万年筆のペン先を切っていると聞いて、期待した。開発費は全部、ディスコ社持ちであった。こうして、第一製砥所製砥石専用の切断機（ダイサー）の開発に、通産省の中小企業技術育成資金を得て、着手した。

関家臣　古くは、海軍関係の精密機械を設計したり、当時は万年筆のペン先用の自動機なんかもつくったとかで、腕には大変自信をおもちのようでした。ただ、かなりの年配の方だったために、古めかしい設計しかできないのに昔の意地があって、大変に頑固一徹。なかなかこちらの言い分を聞いてくれなかったのが困りものでした。

関家憲　こちらは砥石メーカーで、機械の知識がまったくありませんでしたから、設計者にああしてほしい、こうしてほしいとお願いするんですが、まったく耳を傾けてくれないんです。たとえば、こちらが「ここは一ミクロンの精度が必要ですから、そのようにお願いします」と言うでしょう。すると設計者は、「一ミクロンなんて計測する道具がないいんだから、そんな要求はないいものねだりで聞くだけ無駄だ」とにべもないいんですね。

――旧海軍の実力派ですからね。

関家憲　そうなんです。彼は、戦前は帝国海軍の仕事をしていたとかで、当時としては技術的にも優れた方だと思っていましたので。その専門家が言うんだから、そうなんだろうな、と思いながら、それでも一ミクロンの精度があきらめきれない。本当にできないんだろうかと割り切れない。

関家臣　技術は大昔の、古色蒼然。しかし誇りだけは高くて、頑固一徹。あんまり頑固で、私もだんだんと設計者のところに行くのも、いやになりましてねえ(笑)。でも、取りかかってしまったことですから、何とか完成させなければいけないので、いやいやながら辞を低くしてお願いに次ぐお願いで、やり遂げましたよ。

——なだめたりすかしたり、おだてたりですか。

関家臣　つらい思いをしました。しかし最終的には、ものすごい時間と予算を食ってでき上がりました。当初計画した予算の三倍もかかったうえに、実にブザマな機械が完成しました。駆動部を動かすためだけに、チェーンがガラガラとぶん回り、ギアもギリギリとすごい音を立て、水が噴水のように飛び散るといった壮絶な機械でした。機械を少し動かすと、周囲は水と油の洪水になりましてねえ。囲いをつけようにも、構造的につけようがないような構造だったんです。しかも最悪なことには、とても売れる値段じゃない。

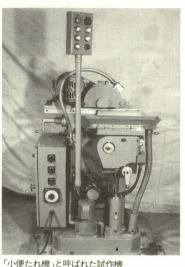
——帝国海軍育ちで、親方日の丸の精神ですね。

関家臣　はい。

次ページの写真が、帝国海軍御用の技師が設計した壮絶な機械である。床には油が漏れた跡があり、後ろには、飛び散る噴水を遮蔽する幕が張ってある。半導体メーカーには一台も売れなかったが、た

「小便たれ機」と呼ばれた試作機

った一台だけ売れたのが、地方都市の水道屋であった。彼らが切ったのは、鉄のパイプであったという。

兄の憲一社長が、語る。

関家憲 やっとのことで機械ができたものですから、電気試験所の先生方に評価をしていただこうと見ていただいたりしたんですがね。結果があまりかんばしくない。それじゃ、世の中の人に判定していただこうということになり、エレクトロニクスショーに出品してみたんですが、これが〃恥の上塗り〃。

――出品したんですか。

関家憲 ええ。ところが、半導体メーカーの技術者の方が「こんな起重機みたいな機械はとても半導体工場で使えるものじゃない」と一笑に付されてしまった。

――起重機というのはどういうことですか。

関家憲 巨大なモーターの回転をチェーンで駆動部分に伝えるんですが、それがガラガラ音を出しながら、むき出しで回るんです。まるで、鉄工場のチェーンブロックかなんかが動いているような感じでした。それだけならまだ我慢できるんですが、摩擦熱を取るために砥石の回転部分に水を噴射しているんですが、これが、すさまじかった。まるで噴水のように、

水を空中に噴き上げるんです。それも、水だけじゃなくて油も切り粉も全部ね。

――壮絶な場面ですね。

関家憲　それがあなた、周囲には、アメリカ製のモダンな装置が音もなく動いているでしょう。そのなかにたった一台だけ臓物剝き出しの不恰好な機械が、公園の噴水のように、水柱を噴き上げているんですから、恥ずかしくて穴があったら入りたい気持ちでいっぱいでした。

――アハハハ。

続いて、次の話も、弟の臣二副社長。兄弟はよほど恥ずかしい思いをしたらしい。この機械のこととなると、話が尽きないのである。

関家臣　会場においでになったお客様の中に半導体の関係者がいまして、「こりゃ何をする機械ですか」と聞くものですから、私が「シリコンのウエハーを切るつもりで開発したんですが」と言うと、お客様は「あなた方は半導体の製造現場をご存じないんじゃないですか。こんなに油や水を飛ばす機械など、工場の中になんか絶対入れることはできませんよ」と呆れている様子なんです。

――会場でも大洪水だったんですか。

関家臣　はい。実はわれわれも実際にでき上がったものを見て愕然としたんです。水が空中に飛び散って処置なし。床は水浸し。私たちも「この、小便たれ機械め」と罵ったくらいのものすごさ。

――さすがに帝国海軍、水は苦にしないんですね。

関家臣　しかも、水が循環式になっていて、巨大なタンクが下についているんですが、何しろ機

械が大量放水しているのも同然ですから、タンクの水がすぐ空になる。水がなくなると砥石が焼きつきますから、オペレーターはウエハーを切るどころではなくて水運びで精いっぱい。何てったって、大量の水を会場に撒き散らすんですから。

――帝国海軍じゃ、排水は水兵にやらせれば済みますからね。

関家臣　えっ？

――いやいや、冗談。しかし、言っちゃ何ですけれども、よく恥ずかしげもなくエレクトロニクスショーにそんな機械を出展しましたね？

関家臣　砥石の威力を見せたかった。ダイヤモンドの研磨剤を塗った厚さ七〇ミクロンの砥石なら一度に五〇枚のウエハーを連続切断しても切れ味が衰えないところを実演して見せたかったんです。

――しかし、機械がお粗末で、それどころじゃなかった。

関家臣　ええ。まったく、循環式だなんて聞いて呆れる思いでした。実に惨憺たる思いで会場を後にしたんです。これはやっぱり、他人の力に頼っていては駄目なんだ。自分の力で開発するしか方法はないとつくづく思ったわけです。

――ところで、その労作は一台も売れなかったんですか。

関家臣　半導体とまったく関係のない、仙台の水道屋が一台だけ買ってくれました。

――えっ、水道屋さんですか、やっぱり軍艦レベルの技術は水を好んだ。アハハハ。

それでも、何とか自主開発ができないものだろうかと考えた。設計図だけは社内で描いて、それを外部でつくってもらえばいい。再び、別の設計屋さんを探すことになった。

■アメリカ製に負けない切断機の完成

今度は、現代のちゃんとした技術者に週一回の割で来てもらい、要望を詳細に伝え、彼がそれを図面にした。それを検討して、図面上で改良する。これを繰り返しながら、機械の専門家と砥石の専門家が協力し合って、機械全体の設計図を完成させていった。

当時はまだ、東京本社といっても営業所に毛が生えたような二〇人前後のセールスマンしかいなかった。関谷さんたちは、顧客のなかから工作機械メーカーの製造課長をスカウトした。機械製造部を新設し、部長の椅子に就いてもらった。もっとも、機械製造部といっても、たった一人の部員が部長であった。兄弟は彼を取り囲んで、ひたすら砥石の蘊蓄(うんちく)を傾けた。営業所の片隅に図面台を置き、関家さんたちの話を聞いては、機械製造部長が図面を引いたのである。

自主開発した機械は、マルチダイサーであった。当時日本では、マルチダイサーという機械が使われていた。一台に五〇枚から一〇〇枚の砥石を装着して、一度に沢山のウエハーを切ってしまおうという装置であった。回転する無数の砥石が二回通過すれば、切れてしまう。日本はまだトランジスタ時代だったから、定型のトランジスタを、大雑把でもいいから、なるべく一度に大量の切断をやってしまいたいという要望からであった。

ところがIC時代に入るとチップの形が長い方形になり、縦横の寸法が異なるようになった。こうなると、無数の砥石を装着したマルチダイサーでは切れなくなった。刃の間隔を縦に合わせて装着すると横をメチャクチャに切ってしまうし、横に合わせると縦がメチャクチャになる。そこで、一枚刃をつけたシングルダイサーを使って、縦と横の動きをチップサイズに合わせて動かせることになる。

日本がマルチダイサーを使っていた時代、アメリカではすでにＩＣ切断用のシングルダイサーに移っていきつつあった。アメリカでは、二社がＩＣ用のシングルダイサーを開発していた。アメリカのダイサーメーカーから、砥石の注文が舞い込んだ。ディスコ社は、「これでわが社の砥石もアメリカに売れる」と期待した。装置が完成すれば、当然、優れた砥石が必要になり、そうなればディスコ社の砥石が爆発的に売れるに違いない、と踏んだのである。

弟の臣二副社長が語る。

関家臣　アメリカで優れた機械ができれば、われわれは砥石だけを売ればよいと考えました。

――いよいよ、わが世の春ですね。

関家臣　ところが、あるとき日本で半導体装置の展示会がありまして、そこにアメリカの二社が自慢のダイサーを出展したんですね。あろうことか、それらのダイサーにわが社の砥石がついていないじゃありませんか。

――ついているはずだと思っていたのにですね。

関家臣　ええ、ついてなかったんですね。そう言えば追加注文が来ないからおかしいなとは思っていたんですが、まだ開発に時間がかかっているんだろうと思っていた。展示会に行った営業マンが「ディスコの砥石がついてない」と飛んで帰ってきた。びっくりして駆けつけてみると、確かにディスコ社の砥石じゃない。「どうして使っていただけないんですか」と聞くと、彼らはいとも簡単に、「おまえのところの砥石は曲がるし、減るし、すぐ割れちゃうから駄目だ」と言うじゃありませんか。よく見ると、機械にはディスコ社の砥石とはまったく違った金属で固めたような砥石がついていた。大変なショックを受けましてね。こ

れは大変なことになる。アメリカで売れないということは、やがて日本にも到来するIC時代に乗り遅れるということだと危機感を抱きました。よし、それならシングルダイサーを自主開発するしか手があるまい。私たちはそう決断したのです。

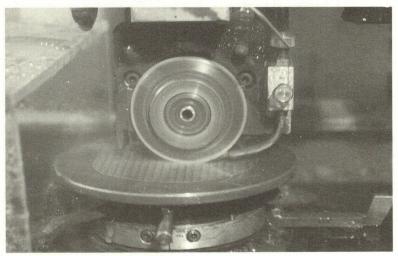
——シングルダイサーの特徴は何だったのですか。

関家臣 一口で言うと、マイコン技術でした。アメリカ製のシングルダイサーは、まるでタイプライターつきの装置といった感じでした。キーボードでインプットしてやるだけで、機械が自動的にウエハーを切ってくれた。これが砥石屋にできるだろうかという不安もありました。マイコン制御の機械など砥石屋じゃできないだろう、と言われましてね。しかし、あきらめたらそれで終わりですから。未知の分野でしたが、やらざるえませんでした。

東京都品川区青物横丁に、貸し倉庫がある。そこの一室を借りて、開発研究室にした。今度は、精密機械のエンジニアのほかに、コンピューターソフトの専門家が必要であった。これも、他社から連れてきた。二人は、彼に砥石と切断のノウハウを伝え、彼がそれをプログラムに組んだ。三人は、砥石の特性を一〇〇パーセント引き出せる自動ダイサーを模索した。こうして、砥石技術と精密機械技術とマイクロコンピューターの利用技術が、渾然一体となった自動ダイサーが完成した。

当時日本には、アメリカ製のダイサーが七〇台から八〇台ほど入っていた。アメリカ製の輸入ダイサーを使っているメーカーに、ディスコ社製のダイサーを使ってもらうことにした。輸入機とディスコ社のダイサーを比較使用してもらったのである。結果は、予想をはるかに超える評価が出た。アメリカ製に比べて、遜色なし。これならアメリカへ持っていっても売れるだろう、と評判になった。

次ページの写真Aは、ディスコ社製のオートマチック・ダイシングマシンDAD-2Hである。現在

A　ディスコ社製のオートマチック・ダイシングマシンDAD-2H

B　静かにウエハーを切断するカッター

も、東北の研磨会社で元気に働いている。写真Bは、低い唸りで静かにウエハーを切断するカッター部分。ダイサーの開発を志して以来、何度も失敗を重ねた末に完成した歴史的な機械であった。

「黒山の人だかり」から世界市場へ

ディスコ社はこれを携えて、アメリカ市場に進出しようと決意する。かつてアメリカで設立した現地会社は、日本に撤退するとき休眠状態にしてあった。これを復活して、販売活動をさせることにした。

ディスコ社製のシングルダイサーは、一九七五年（昭和五〇年）のセミコンウエストに出品された。弟の臣二副社長が数人のエンジニアを引き連れて、会場に乗り込んだ。日本の半導体メーカーからはアメリカ製と遜色なしと太鼓判を押されていたが、本場アメリカのユーザーがどう評価してくれるか、彼らの胸には期待と不安が交差した。

関家臣　人が人を呼んで、噂が噂を呼んで、当社のコーナーはいつも黒山の人だかりがしてました。向こうのエンジニアの方たちが、ウチの機械の前に立って何時間もじーっと見ているんですね。

――衝撃的な登場だったんでしょうね。

関家臣　彼らにとっては、そうらしかったですね。当社のダイサーは、何が特徴かと言えば、ただ切れること。切れ味が衰えないこと。だから私たちの方針は、絶対に機械を止めないこと。一分たりとも止めずに、とにかくひたすら切り続けることでした。一方、アメリカ製

の弱点は、ちょっと切るとすぐ砥石が壊れることでした。「ディスコ社の砥石は絶対に壊れないよ」ということを無言のうちにアピールするには、毎日、会場が開いてから閉まるまで、最初から最後まで、機械を止めず切って切って切って切りまくった。

——朝から晩まで、連日切りっ放しですね。

関家臣　ええ。朝から晩まで連日切りっ放しでした。展示会で実演するときには、普通は、得意なところだけをちょこっ、ちょこっとやって見せるものなんですね。あまりボロが出ないようにね。しかし、私たちはあえて逆をやった。安全に、安定して切れるんだから、そんなことはまったくする必要がなかったんです。ウエハーを小さなピッチで連続して切った跡が見えないぐらい細かく切り続けた。そういうことを、連日やりました。すると「あそこの機械は切れてるよ。砥石が割れないよ」と噂になって広がっていったんです。ですから、人が人を呼んで、押すな押すなの大賑わい。

——それで、プロが何時間も粘って観察したんですね。

関家臣　ええ、じいっと見ているわけですね。そうすると、次の日に彼が別の人を連れてくるんです。翌々日は、連れてこられた人がまた別人を連れてきたんです。お互いにシリコンバレーのなかで、近いですからね。そんなことで、日がたつにつれて人が鼠算式に増えていったんです。

——いろいろ聞いてくるんでしょう。

関家臣　値段が高いと言う人もいましたけど、それは少なかった。日本の会社は大体一年ぐらいで帰っちゃう場合が多いのだが、ディスコ社は信用できるのかとか、アフターサービスは

大丈夫かとか。なかには、大手の半導体メーカーさんで非常に反日感情の強い会社があって、そこのエンジニアがわざわざウエハーを持参して「このウエハーの中を丸く円形に切り抜いてくれ」と要求するんですね。

——ウエハーの真ん中に丸い窓を開けるなど、どこの機械でも不可能でしょうに。

関家臣　いえ。レーザー光で切る装置は、それができるんですね。彼は「わが社の機械はそれができるのに、この機械はそれもできないのか」と声高に叫ぶんです。自社の宣伝というか、ディスコ社の欠点指摘というか、感情剝き出しでやるんですね。

——それで？

関家臣　「これは、見ていただいているように、真っ直ぐしか切れないんです。丸くは切れません」と辞を低くして答えると、彼は「いいから丸く切ってみてくれよ」としつこいんです。私はひたすら「真っ直ぐでよければお切りいたしましょう」と言うと、彼は「わが社のレーザーは切れるんだがね」とか、「これからはレーザーの時代なのに、いくらよく切れるからって、こんなものは役立たずだ」とか、言いたい放題で悪宣伝をするんです。

——それでも、するが堪忍ですか。

関家臣　相手にしてみれば、相当癇に触ったんでしょうね。その人がやっと帰ったと思ったら別の男がやって来て、今度は五インチのウエハーとか六インチのウエハーを持ってきて、「君はさっき真っ直ぐならいくらでも切ると言ったんだから、これを切ってくれ」とゴネるんです。ディスコ社の機械は当時主流の四インチウエハー用につくってありましたので、五インチや六インチはセットできなかったんです。大勢の前で切れないことを印象づけてお

いて彼が、「五インチや六インチが切れないようでは使いものにならないねえ」と声高に言うんです。本当に、露骨というか、相手の機械のイメージを落とすために手を替え品を替えて、いやがらせをされました。

——それは半導体メーカーでしたか。

関谷臣　半導体メーカーでした。反日感情のとても強い会社でした。

——でも、展示会では黒山の人だかりでしたから、機械はガンガン売れたんでしょう。

関家臣　順風満帆というわけにはいきませんでした。やはり、世界的にドーンと広がっていったのは、テキサス・インスツルメンツ（TI）社が日本に工場を建設して、そのときにディスコ社のダイサーを大量に入れてくれまして、その結果を見たTI社が今度は、ワールドワイドに膨大な数を一挙に導入してくれたんですね。これが世界中の半導体メーカーに強烈なインパクトを与えて、ディスコ社の製品が爆発的に世界市場で伸びていったんです。

▨ アプリケーション・エンジニアの効用

三日間の会期中に、五〇〇社を超える引き合いが殺到した。当時の販売担当役員や、若いエンジニアが、「このままアメリカへ残って販路開拓をしたい」と言いだした。こうしてアメリカ上陸は無事果たすことができた。

薄くて丈夫で切れ味の衰えない特殊な刃。それを充分に活かすことのできる装置。この特徴にやがて、さらに高い能力のマイコンが装備され、完全自動機械として完成していくのである。TI社から

の大量発注がきっかけとなって、ディスコ社の機械が急速に世界を席巻しはじめた。一時は、世界市場を一〇〇パーセント独占したほどである。

関家憲　私たちが成功したのは、本当に砥石のことを知り尽くした砥石メーカーが、砥石の性能を充分に引き出すことを目標にして機械をつくったからだ、と自負しているんです。砥石、それを装着する機械、それらを使いこなすためのアプリケーション技術、この三つをうまく有機的に結び合わせて市場に提供できた点が、ディスコ社がかくも世界市場を制覇できた理由だと思います。この二〇年ほどの間に、全世界で二五社ぐらいの競争相手が出てきたと思いますね。しかし、彼らが全部私たちの前に敗退していったのは、皆さんばらばらでいらっしゃった。砥石の専門メーカーは、砥石だけ。機械の専門メーカーは、機械だけ。その両方を有機的に結びつける仕事をした会社はなかったんですね。ですから、そのへんがディスコ社の独壇場になったんですね。

砥石の開発から始まって、その利点を最大限に引き出すことが装置の開発であった。ディスコ社のダイサーは、常に刃先の立場から設計されてきた。だからこそ、砥石と装置が一体となって切る能力を高めてきたのである。ここに、ディスコ社の成功の秘密があった。あとは、これに顧客の要望を徹底的に取り入れれば、装置はもっと使いよくなる。そのためには、顧客の手に渡った装置にも絶えざる関心を向けることだった。

両氏が語る、ディスコ商法——。

関家憲　アメリカは、マニュアルで物を売るというのが基本なんですね。いわゆる手引き書で、物を売る。ですから、一台の機械に沢山の手引き書があるんです。たとえば、まず使い方

の手引き書。それから、直し方の手引き書。応用の手引き書。手引き書がしっかりしていれば、物が売れるし、それがなければ逆に、物も売れない。

――なるほど。

関家臣　ただし、その手引き書と一緒に買ったら、それで直してうまく使うのも全部、お客さんの責任になる。逆に、われわれ日本人というのは、手引き書のいいのがなかなかつくれないものですから、手引き書なしで海外に飛び出した時期があるわけです。日本的な方法で、どこどこで壊れたと連絡が入ると、何時間も飛行機に乗っても直しに行かなきゃならない。それを現実にやってきちゃったわけですね。最初はかなり大変だったですけれども、結局やり遂げてしまった。そうなると、やはり手引き書販売よりは、人間派遣のほうが信頼されて客がつくんですね。

――どんなところでも行くんですか。

関家臣　ええ。先ほど言ったように、ディスコ社ではアプリケーションというものを大切にしているわけですね。たとえばお客様が「俺はうまく切っているよ、ディスコ社の装置とディスコ社のダイヤモンドブレードを使って、うまく加工しているから心配要らないよ」と言っても、ディスコ社のアプリケーション・エンジニアが定期的に訪問して使っている状態を見せてもらう。効果的な使い方をすればもっと性能は上げられるはずだと思えば、合理的な使い方を助言させていただく。すると、生産性がぐんと上がるわけですから、結局、ユーザーのためになり、喜ばれる。

――しかし、見方によると、結構おせっかいなことかもしれませんね。

関家臣　はい。私はそれを〝おせっかい商法〟と言っているんですけれども、日本人のおせっかい商法のほうが結局は、マニュアル商法に勝つんですね。もっといい方法でお使いいただけるのではないか。こんな利用法をご存じですかと、それだけを目的にしたアプリケーション・エンジニアを定期的に本社から世界中の工場を巡回させているのです。

関家臣　サービスは、言葉じゃないんですね。技量と誠意です。ディスコ社も機械が海外に大量に売れるようになると、使い方や保守整備をどうするかという問題が起きてきました。しかし、英語ができるエンジニアがウチには、いなかったんですね。やむをえず、機械が直せればいいだろうということで年配の方にサービスエンジニアとして行ってもらいました。イエスとノーぐらいしか言えない方でしたので、最初は大変心配していたんですが、やがて現地で引っ張りだこになった。どんな時刻にも、いやな顔ひとつ見せず駆けつけてくれる。言葉は通じなくても、機械の症状を見ただけで魔法のように直してしまうというので、絶大な信頼を得てしまった。この例から私たちはサービスは、言葉もさることながら技術と人柄だ、と信ずるようになりました。

――マニュアルよりは人を出す？

関家臣　もちろん当社も立派すぎるくらいのマニュアルが、一つの機械に二冊も用意されていますよ。しかし、基本は人間を派遣することです。とにかく人間をマメに派遣して、徹底的にサービスする。すると、ユーザーの不満や要望がこと細かくフィードバックされて、それが機械の改良に活かされるという利点も大きいんですね。

アメリカの製造業が衰弱したと言われはじめてから、すでに久しい。繊維、製鉄、自動車、電気製

品、そして半導体と半導体製造装置など数え上げればきりがない。特に世界の市場では、かつて圧倒的な強さを発揮していたアメリカの半導体製品や半導体製造機器が衰弱したのは、なぜなのか。本巻の終わりではその点も明らかにしなければならないが、そうした含みもあって、これから登場する皆さんには、折に触れ、その点から体験や意見を聞いておこうと思う。アメリカでの販売活動を通して、ディスコ社の兄弟経営者は、アメリカ式経営と日本式経営の違いをどう見たのだろうか。

関家臣　これは日米の販売哲学の違いというか、私たちがアメリカ市場に進出するときに大変苦労した点なんですが、アメリカのセールスマンには、商品の売りっぱなしというところがあるんですね。

——売ってしまえば、あとは知らん顔ですか。

関家臣　アメリカでは、普通の工業用の砥石に関してもそうだし、半導体専用の砥石もそうだし、半導体製造装置もそうなんですけど、セールスマンは、売ったらあとは俺の責任じゃないよ、と言うんですね。

——日本では？

関家臣　セールスマンの仕事は、顧客を新規に開拓することも大事ですが、もっと大事なことは、注文を長続きさせることなんですね。続けて注文してほしいからこそ顧客のクレームには神経質になり、問題が起きると即刻飛んで行って解決するんですね。トラブルの責任を取るから、もう一度自分のところの砥石を使ってください、と。あるいは、二度とトラブルが起きないように、顧客のクレームを製品の改良に結びつけるんですね。

——アメリカの砥石メーカーには、それがないんですか。

関家臣　セールスマネージャーでも、「俺は売るのが専門だから、製品のクレームは製造側に言ってくれ」という態度ですね。あとを続けるためには何をしなきゃいけないかという考えがない。今自分が扱っている商品が悪くなれば、別の良い製品を探して売ればよい。今の製品をより良くしていこうなどという考えなど毛頭ないようでしたね。

――自分のことしか考えてないんですね。

関家臣　でも、本当に自分のことを考えたら、商品に愛情をもつのが当然だと思うんですがね。買っていただいたものを正しく上手に使っていただいているか。もしお客様が誤った使い方をしていれば直してあげて、商品が常に最適な状態で使われるように手を尽くす。商品が快調に動いてこそ、再び注文が自分に来るんですから。

――当然ですね。

関家臣　それが、アメリカでは、どうもそうではないらしい。セールスとは売るまでが仕事、と自分で区切っちゃっているような感じがしますね。なんとかお客様に満足していただき、愛していただけるものを送り出したいという考えがない。良いものをつくる喜びとか、良いものを社会に送り出せる喜びとかがね。なにせ、自分たちが世に送り出す商品にあまり愛情がないように思うんです。

異能集団の技術統合

チップを載せる板の世界的企業

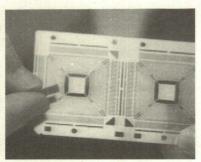
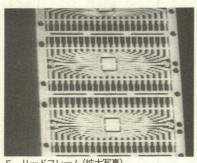
ウエハーから切り出されたＬＳＩチップは、次ページの写真Ｂのように、薄い金属板の真ん中に固定される。指でつまんでいるのが、ＬＳＩチップである。金属板の中央部にはチップを接着させる島が設けられ、その周りに糸のように細い端子が刻まれている。その数は、載せるチップの端子数と同じである。最近のマイクロプロセッサーはチップ周辺の端子数が六〇を超えているので、それを受ける金属板の端子も六〇を超えることになる。

中央部の島にチップを接着し、チップの端子と金属板の端子を金線でつなぎ、そのうえで全体を樹脂で封じると、樹脂からは金属の脚が出る。それを曲げるとムカデの脚ができ上がる。これを電子機器の受け口に差し込んで、装置の回路とＬＳＩチップの中の回路を連結させるのである。このように、ＬＳＩチップを載せる金属板のことをリードフレームと言うが、この製造は容易ではない。小さな面積に多いときには何百本ものリード端子をつくり込むには、非常に高度な技術が必要なのである。

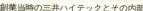
福岡県北九州市の郊外に、リードフレームでは世界市場の三割を押さえる企業がある。社名は三井ハイテック。知られざる世界的企業である。三井とはいっても、財閥系の三井とは何の関係もない。大きな工場では、プレス機械が金属板を打ち抜く音がカタカタカタと響いている。写真Ｃのような、ニッケルと鉄の合金でできた長く薄い板がロール状に巻かれ、先端がプレス機械の中を通っている。これがリードフレームの材料である。プレス機械には、写真Ｄのような金型（かながた）がセットされ、そこを通る薄板が一分間に一五〇〇回の割りで打ち抜かれ、写真Ｅのような、大きなリールで巻き取られていく。リールとその向こうに見えるプレス機械の間に、映画のフィルムのような、帯状の金属がつなが

D　プレス機械にセットされた金型

A　現在の三井ハイテック本社

E　打ち抜かれた薄板をリールで巻き取る

B　シリコンチップとリードフレーム

F　リードフレーム（拡大写真）

C　ニッケルと鉄の合金でできた板

創業当時の三井ハイテックとその内部

っているが、これがプレスで打ち抜かれて巻き取られつつあるリードフレームである。近寄ってそれを撮ったのが、写真Fで、これを切り離して使うのである。

リードフレームはかつて、エッチングという、薬品で腐食させる方法でつくられていた。それを金型で精密、大量、安価につくることを考えたのが、創業者の三井孝昭会長（七一歳）であった。

大正一〇年、熊本県八代町の呉服屋の三男として生まれたが、小学校を卒業するまでに両親に先立たれ、少年時代から苦労した。商業学校を中退した三井さんは、八幡市（現在の北九州市）にあった安川電機に入社し金型技術者として技術を磨いた。二七歳のときに退社して独立。金型専門会社「三井工作所」を設立した。現在の三井ハイテックの前身である。

上の写真が、創業当時の三井工作所である。写真（右）に写っている家の隅に三坪（約九・九平方メートル）ほどの仕事場（写真左）があった。三井さんを入れて、三人の社員。三坪の作業場、三台の万力（まんりき）、三人と六本の手、それが創業時の全資産であった。

最初に手がけたのが、モーターのコア（鉄芯）をプレスで打ち抜く金型であった。モーターの回転子は、薄い鉄板を複雑な形に切り抜き、何十枚も重ねて、それにエナメル線を巻いてつくった。鉄板を

必要な形に打ち抜くためにはプレス機械を使ったが、三井さんたちは、プレス機に取りつけて使う金型をつくったのである。

創業は昭和二四年。折からのドッジ不況で日本経済は想像を絶するどん底でのたうった。米ソの冷戦がエスカレートし、朝鮮半島情勢が風雲急を告げるようになると、アメリカは日本経済の立て直しに取り組んだ。戦争が勃発したとき、日本が重要な支援基地になると考えたからである。アメリカ政府はデトロイト銀行の頭取であったジョセフ・ドッジを日本に派遣し、経済の再建に当たらせた。ドッジが立てた再建策は、徹底的な緊縮財政の実行であった。それまで国が企業に対して行ってきたさまざまな資金援助が、打ち切られた。復興資金を借りることでどうにか維持してきた戦後の企業経営が、挫折した。深刻な不況が到来し、激しい人員整理の嵐が吹き荒れた。これが、〝ドッジ旋風〟と呼ばれる大不況であった。

三井 無我夢中でしたよ。だから必死になって仕事を取りにいくわけです。そうすると「今までの取引き先にも仕事を出せないでいるのに、新規のお宅になどとてもとても」と言われましてね。そこを何とか仕事をもらえる手だてはないかと聞くと、「値段も納期も半分以下で、性能が倍ぐらいあれば出しましょう」と言うわけ。そこで「もしできたらお金をいただけますね」と念を押すと、相手は「ええ、もちろんです。製品が価格半額、性能倍増、納期半分なら必ずお払いします」と言うわけね。それで私は「それで結構です。ぜひともやらせてください」と図面を借りて

三井孝昭氏

きたんです。

──自信があったんですか。

三井　ありませんよ。できっこないと思うから、相手も図面を貸してくれたわけでしょうからね。

──じゃあ、賭けですね。

三井　駄目でもともとなんですから、まず挑戦してみる。何もしないでスゴスゴ引き下がるわけにいかないでしょう。生きるか死ぬかですから。

──成功したんですか。

三井　図面を持って工場に帰ってきたら、あとの二人が猛反対。そんな無理難題はできっこないと言うわけね。それで私は「おまえ、やってみたのか」と聞くと、彼らは「そんなことやってみなくてもわかる。常識です」と言うんですな。それで私は「おまえらアホ言うんじゃない。やってもみないで、できないと決めつけるとは何ごとだ」と怒ったんです。

──すると？

三井　神業（かみわざ）でもなければできっこないと、二人とも動かない。

──万事休す。

三井　なんの、なんの、あきらめてなるものか。昼間は私が注文取りに歩く。一人が早朝から夕方まで働く。もう一人は正午から夜中の一二時まで働く。その先、夜中の一二時からは私が引き受ける。これでコストも納期も半減した。

──しかし、二四時間働きっ放しじゃないですか、それでは。

三井　だからコストが半減するのです。

たとえば鉄板にH形の穴を打ち抜く場合、Hの形をした凸状の雄金型と同じ形の凹状雌金型の間に鉄板を挟んで大きな力でプレスする。すると、中に挟まっている金属板にH形の穴が開く。

上の写真は、三井さんたちが開発したモーターのコアを打ち抜くためのタングステンカーバイド製の精密金型である。下が雄金型で、上が雌金型である。上の雌金型の四隅に立っている円柱を下の雄金型の円筒に入れると、雌と雄が寸分の違いもなく凹凸が合うよう収まる。しかも、柱の長さ分だけ上下にピストン運動ができる。一台の金型に四つの凹凸が違う形でつくられている。雌金型と雄金型を見比べると、凹凸の形がまったく同じである。

モーターコアの金型

硬い鉄板を打ち抜く刃である金型は、鉄より硬い材料でつくる必要がある。軟弱なものでは、たちまち金型の刃先が鈍ってしまう。刃先が鈍れば、精密な打ち抜きが不可能になる。

当時は、プレス用の金属金型は熟練した職人がヤスリで磨いて成形し、それに焼き入れをして鋼鉄にした。この方法では、焼き入れの工程で誤差が生じ、でき上がった金型の精度に限界があった。三井さんは焼き入れをしたあとに成形する方法を開発した。やがて鋼鉄をタングステンカーバイドに変えて金型をつくるようになった。ヤスリ仕上げでは、一〇〇万個しか打ちぬけなかった金型が、カーバイド金型では一億個も打ち抜けるようになった。

タングステンカーバイドで金型をつくることに成功したのは、三井さんたちが最初であった。従来の一〇〇倍の数は抜けるという、驚異的な金型ができたのである。注文が殺到し、会社は急成長を遂

げていく。

――性能抜群でどんどん売れた？

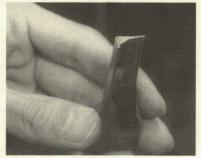
三井　いや、性能がよすぎて、少しも摩耗しないから、一回購入してしまえば一〇〇年はもった。だから、どんどんは売れるということにはならなかった。仕方がないから私は、カーバイドの金型をアメリカに売りにいったわけです。アメリカでは金型利用の製品はすごい生産量でしたから、昭和三〇年代にはアメリカからの注文が殺到いたしまして、三年分ぐらいの受注を抱えるようになりました。

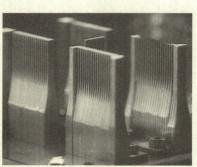
――左うちわに右扇風機ですね。

三井　そうしたら、会社の幹部は何も仕事がなくなってしまった。注文は来る。しかも前金は、もらえる。製品を納入したらお金はＬＣ（信用状）で、じきに入る。何もすることがなくなったわけ。そうすると〝小人閑居して不善をなす〟で、会社の空気がだらけて緊張感がなくなってしまった。そこで何か次の開発をやらなきゃいかんと思った。

多少の資金を手にできた三井社長は、アメリカの見聞旅行に飛びたった。昭和四三年のことである。

アメリカで拾ってきたリードフレーム

シリコンバレーのなかにあるアメリカ海軍モフェット基地。新しい技術が生まれていると小耳に挟んだ三井社長は、ここを訪れた。先にマイクロプロセッサーの誕生について触れたとき、本巻の六二ページでそのあたりの風景を描写しているが、基地の上をひっきりなしに対潜哨戒機Ｐ３Ｃが離着陸

組み合わせて雄金型にする刃の１個

PC3機が離着陸するモフェット海軍基地

多くの刃を組み合わせて構成した雄金型

基地の中のNASA研究所

金網の側で拾ったリードフレーム

を繰り返していた。基地のなかにはＮＡＳＡの研究所があり、向かいにはフェアチャイルド社の工場群があった。この一帯は当時のハイテク基地だった。このとき、金網の側に落ちていた小さな金属の板、それがリードフレームであった。

——どこに転がっていたんですか。

三井　シリコンバレーのＮＡＳＡを訪ねて行ったときです。金網の根元に転がっていたんです。それを拾って「これは何だ」と言うわけですよ。そし

たら、駐在員が「リードフレームです」と。「リードフレームって何ですか」と聞いたら、彼は「ＩＣに使うものです」と言うんですよ。

――なるほど。

三井　ＩＣという言葉を初めて聞いたんですよ。ほれ、英語じゃよく「アイシー、アイシー」と言うでしょう。あれ「了解」という意味なんですが、私はアイシーが集積回路のＩＣだなんてまったく知らなかったんです。それで今度は、ＩＣって何かと聞いたんですわ。すると駐在員が言うには「これからはすべての電子装置がＩＣでつくられるだろう」と教えてくれた。それで私は、「これだッ」とひらめきました。思わず「アイシー」と英語で叫んだ。

――了解。なかなか会長もやりますね、駄洒落を。

三井　駄洒落じゃない。本気でした。それですぐに「これは一体いくらかね」って聞いたんですよ。そうしたら一〇〇〇個単位で二〇〇ドルだって言うじゃありませんか。二〇〇ドルというと、当時は一ドルが三六〇円でしたから、七万二〇〇〇円。ということは、一個が七二円ですわ。それで私は、思わず「俺なら一個一〇円でできる」って言ったんです。

――また、睡眠四時間の二四時間操業でやるんですか。

三井　いや、私の開発したカーバイドの金型で打ち抜けば、これくらいの精度なら簡単に大量につくれる。

当時、リードフレームは、フォトエッチングという写真製版と薬品腐食技術でつくられていた。したがって、工程が複雑になり、コストが嵩(かさ)んだ。

喜び勇んで帰国した三井社長は、新商品リードフレームの開発を提案した。だが、会社の重役陣は

全員が猛烈に反対した。海のものとも山のものとも知れない商品に手を出したら、会社はひどいことになる。なにも新しいことを始めなくても、儲かっているのだから今のままでいいじゃないか。冒険をして失敗したら、会社は大変なことになる、と重役陣は強く主張したのである。

全員の重役に反対された三井社長は、それでもあきらめきれず、別会社をつくってリードフレームの製造に乗り出した。タングステンと鉄の合金であるタングステンカーバイドは、ダイヤモンドに次いで硬い材料である。これを使えば、切れ味の衰えない超鋼質の金型になる。しかし、鋼鉄より硬い材質を、どうすればリードフレームのような複雑で精密な形の凹凸に加工できるのか。

試行錯誤を繰り返して編み出した方法が、刃先組立て法であった。ある形を無数の部分に分解し、それらを小さな刃につくり、雄金型の取付け台に植え込むようにして組み立てるのである。いくつもの刃をリードフレームの形に組み合わせて、台に植え込んで固定する。これを雄金型にして、金属板をプレス機械で打ち抜いた。ついに、リードフレームの量産に成功した。予想通り、単価が一〇分の一に急落した。

ところが、このリードフレームが日本ではわずかしか売れなかった。昭和四〇年頃の日本のICメーカーは、一品目で月産五万個程度のICしかつくっていなかったのである。五万個のリードフレームは、金型でつくればわずか一時間でできてしまう。日本のICメーカーを相手にしていたのでは、売れる数はたかが知れている。それで、またもやアメリカのICメーカーに売り歩くことにした。

三井　全然コネがございませんから、飛び込み販売でやりました。しかし、シリコンバレーじゃ、まったく相手にしてくれませんでした。日本人にそんなものできるはずがない。だから、はなっからこちらの話を聞こうともしないわけ。それなら田舎を回ってみようということ

になり、フェニックスのモトローラ社とか、テキサス州ダラスのテキサス・インスツルメンツ（TI）社とか、人間より牛の数が多いようなところへ行ったわけです。

——飛び込みでTI社にも押しかけたのですか。

三井　ええ。サンプル見せて「おまえのところは二〇〇ドルで買っているそうだけど、俺は二〇ドルで提供できるよ」とね。

——それをだれに説明するんですか。

三井　まず最初は、受付の女の子に。コネがあれば購買課のだれさんに会いたいと面会を申し込むことができますが、飛び込みですから。受付の女の子に「おまえの会社は確かこれと同じものを二〇〇ドルで買っているはずだけど、俺は二〇ドルで引き受けるからだれかに伝えてくれないか」とお願いするんです。すると、受付の女の子が受話器をとって八方に電話をかけてくれた。通訳が「彼女は何か、変な外人が変なこと言って帰ろうとしない」と電話してますよ、と教えてくれた。

——どうなりました。

三井　ここがアメリカのいいところなんですね。購買担当者が出てきて「なぜ一〇分の一でできるのかを説明してくれ」と言うわけですよ。それで私は、「現在のあなたたちのやり方は写真製版でやっているでしょう。しかし、これは金型で打ち抜いてつくるので安くできるのだ」と説明したんです。すると彼はすぐに、私の持っていったリードフレームを顕微鏡で検査した。顕微鏡で打ち抜かれた破断面を見ると、エッチングでつくったものか金型プレスでつくったものかすぐにわかるんです。それで、打ち抜きでつくったことはすぐに納得

した。しかし、彼は「これをおまえがつくったという証拠がない」と言うんです。

──信じてくれないわけですか。

三井　うん。それで私は、「それならつくっているところを見せるから日本に来い」と言い返したんです。

モノづくりの魂は体験から

やがて、TI社の調達担当者が三井さんのあとを追うように福岡にやってきた。彼は、プレス機械でリードフレームを量産する製造風景を見て仰天した。「充分納得」と彼は、即刻五億円の注文を発注した。年間売上高が四億円の頃である。一年の仕事を超える大量発注であった。その年は、会社創立二〇周年記念の年であった。記念すべき年に総売上一〇億円に倍増したのである。

──TI社一社からの注文が五億円ですか。

三井　ええ。そりゃ、腰抜かしますよね。

──リードフレームの製造に反対した重役さんたちの反応は？

三井　彼らは黙(もく)して語らず。そういうときはみんな黙ってますわな。もっとも、開発に三億円もかかってしまいましたから、彼らにも曰(いわ)く言いがたい気持ちがあったのでしょうねえ。しかしそんな赤字は一年で解消して元を取ってしまい、そのうえアメリカ全土から注文が殺到するようになったんです。モトローラ社、フェアチャイルド社、ナショナル・セミコンダクター社などすべてのICメーカーが、頭を下げてやってきた。

――市場独占でガッポガッポの大儲けですか。

三井　はい。

――ちなみに、現在の年間総売上高は？

三井　今年（平成二年）の総売上高がおよそ三〇〇億、正確に言うと二九〇億円です。

――ひぇーっ、三〇〇億円！

三井　このところ増産に次ぐ増産なんですが、まだ需要を満たしきれない。

最初につくったリードフレームは、脚が一四本ある一四ピンだった。続いて一六ピン、一八ピン、二四ピンと増えてきた。やがて二四ピンになったとき、これが限界ではないかと言われた。しかし現在は、なんと一六〇ピンのリードフレームを金型で見事に抜けるのである。それが可能になったのも、コンピューターとマイコンの力である。半導体能力が装置を変え、装置が半導体能力を変えていく。

リードフレームは、すべて顧客の注文に合わせてつくられる。ピンの数との配置や形は、ＬＳＩの設計の基本的な部分だからである。リードフレームの大きさとピン数や形状が決まると、それをどのような形の刃を何本組み合わせることで実現するかを設計しなければならないが、それはもはや人間の手だけでは不可能である。コンピューターの助けを借りて、全体の形を構成する刃の一本一本の形状を精密に描き出していく。組み合わせ金型を長くつくってきた貴重な技術蓄積が、コンピューター描画のソフトに組み込まれているのである。

そうして設計された刃の一本一本を、今度は精密に加工しなければならない。これを容易に実現してくれるのが、数値制御と呼ばれる自動工作機械である。作業員が加工する刃の数値をインプットするだけで、機械内蔵のマイコンが切削具を精妙に操って、超硬合金のタングステンカーバイドを複雑

ヤスリがけの特訓を受ける新入社員

な形に仕上げていくのである。

こうして、かつては三坪の土間から始まった零細企業は、今、年商三〇〇億の中堅企業として半導体産業の一翼を担っている。

三井　リードフレームに出会わなかったら、ウチの今の年間売上高はせいぜい一〇億ぐらいでしょうね。それが現在、日本国内だけで三〇〇億円。海外工場も入れると四〇〇億近くになるし、毎年一〇パーセントぐらいの割合で成長していけるということは、やっぱりICという先端産業につながることができたせいですね。

――なるほど。

三井　じゃあ、そういう先端産業が世の中にあるんだということを知っていて、私は探し歩いたかと言うと、そうじゃないんですよ。犬も歩けば棒に当たるで、引っかかったんでしょう。

これは何かと言うとやっぱりラッキー、俺はツイてると。

——ラッキーですか、あやかりたいですね。

三井　それで、俺はなぜについているかということをツラツラ考えてみるに、こりゃもうご先祖のおかげだと。私の先祖がきっと過去に何かいいことを世のためにしてくれた、その功徳が今、私にいろいろとご利益をもたらしてくれているんだと思っているんですわ。

——それは、ありがたいことですねえ。

三井ハイテックでリードフレームの設計製造を撮影していたとき、しばしば不思議な光景をみかけてびっくりした。男女の別なく、職種の違いに関係なく、入社したばかりの社員は全員が、ヤスリがけの特訓を受けていたのである。一本のヤスリだけで、鉄塊の平面と垂直を研ぎ出していくのである。

「新入社員全員のヤスリがけ」は、会社草創期からの制度だという。

三井　モノをつくる基本は、まず地球に対して水平でなけりゃいかんわけ。その上に建物でも機械でも立っている。水平が出せて、次に垂直を出せる。だから水平、垂直、直角、真円という言葉がある通り、これを自分の力でつくり出せることがモノづくりの第一歩。汗水垂らしてヤスリがけをやってみると、水平、平行、直角を出すということがいかに難しくて、大変かということがわかる。ここでモノづくりの大変さと、それができたときの喜びとを体験するわけですよ。

——技術屋さんだけじゃなくて、事務系の従業員にもやらせるのは？

三井　創業当時から、大学の文系を出た人たちにもそれをやらせてきました。最初は「俺たちはこんなことをするために大学出たんじゃない」とか言って抵抗しましたがね。しかし、や

ってみないことにはモノづくりの大変さが理解できない。なにも、それを一生やれって言うんじゃない。一回でも体験してみるとモノづくりの魂がわかる。モノづくりがわが社の使命で、われわれはそれで食べているんだから、その心を大事にしたいと思っているんです。

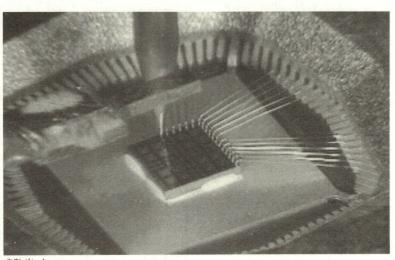
技術の基本は人間の腕と心にある。人間が蓄積した技術体験があってこそ、それを機械に覚えさせることができるのであって、人間自身が技術の向上を放棄したら、たとえコンピューターがあっても進歩は止まる、と三井社長は考えているようである。実際に設計や製造に携わる人間だけでなく、精密加工の基本とモノづくりの魂を社員全員が体得していてこそ、立派な商品を世に送り出せるのだ、と言うのである。

▓ 半導体製造技術の日米競合

半導体製造装置および材料に関する世界的な展示会と言われているセミコンウエストの様子については先に紹介したが、ここでも、日米が競合する分野が少なくない。たとえば、ウエハーから切り離されたチップとリードフレームの間を細い金線でつなぐワイヤーボンダーの分野などはその典型である。一方の旗頭が日本の新川製作所製ワイヤーボンダーで、一分間に二〇八本の金線を正確につないでいく。そのライバル機種が、キューリック・ソファー社製のボンダー。これの金線接続能力は一分間に三〇四本で、現在のところ世界一である。

新川製作所の展示コーナーに日本人社員がいるのは当然としても、キューリック・ソファー社のコ

自動ボンター

ーナーでも日本人の担当者がお客の応対をしていた。聞いてみると、キューリック・アンド・ソファー・ジャパン社から馳せ参じたのだという。最近は、アメリカの半導体装置メーカーの多くが日本人従業員を採用し、重用するようになっている。半導体製造の中心が日本に移ってしまっている現在、日本の半導体メーカーの要望をいち早く装置に取り入れることが成功の秘訣になっている。日本人が開発に一枚加わるようになると、アメリカの機械はたちまちきめが細かくなり、使い勝手のよいものに変身する。アメリカ人の天才的なひらめきと日本人の繊細さが手を結ぶと、非常に市場性の高い商品になるというのである。

まず、ワイヤーボンディングの分野では、パイオニア的な存在であるキューリック・アンド・ソファー社から見ていくことにしよう。トランジスタ時代の黎明(れいめい)期から世界を席巻してきたキューリック・ソファー社は、現在の従業員数お

キューリック・アンド・ソファー社

取材班歓迎の看板

セミコンウエストのK＆S社のブースにいたK＆Sジャパン社の日本人社員

よそ一〇〇〇人、年間売上高一四三億円。ここから送り出されるボンダーが、世界市場の四〇パーセントを占めている。

ニューヨークからインターステーツ・フリーウェイ五号線をフィラデルフィア方向に車で二時間、ペンシルベニア州のウィローグローブ市の郊外にあるキューリック・アンド・ソファー社は、広い芝生に囲まれて白く輝く大きな平屋のビルであった。玄関に入ってびっくりした。受付の脇に、墨痕鮮やかに「歓迎日本放送協会様」と達筆な日本語で書かれた立て札があった。聞いてみると、私たちの取材を知ったキューリック・アンド・ソファージャパン社が、国際宅配便で送ってきたのであった。私たちの放送を見るのは当然、日本の半導体メーカーであり、彼らこそが今、世界最大の顧客であるのだから、日本の取材班を大切にするのが上策という判断があったようである。

まず、社長のスコット・キューリックさんに

スコット・キューリック氏

キューリック・アンド・ソファー社の工場

面談した。

キューリック　K&S（キューリック・アンド・ソファー）社というのは、私の父のフレッド・キューリックとパートナーのアル・ソファーが創立しました。一九五〇年（昭和二五年）に、二人の友人同士がガレージで始めた仕事でした。つくってほしいという注文があれば、どんなものでもつくってあげるのが仕事でした。初期の頃は、酒造業界から頼まれてビールやウイスキーなどのアルコール醸造機械をつくったり、食肉業界の注文で食肉パッキング装置などをつくっていました。

――それが半導体産業に手を出すようになったのは？

キューリック　K&S社とベル研究所は車で目と鼻の距離でしたし、一時間半ぐらいのところにペンシルベニア州のアレンタウンという街がありまして、そこにはウエスタン・エレクトリック（WE）社がありました。ある日アレンタウンの工場から技術者がやって来て、「最近発明したトランジスタというものを製造する機械が必要なんだ」と言うわけです。当時はトランジスタなんてつくる人はだれもいなかったわけで、したがってモデルがまったくあり

ませんでした。ですからフレッドとアルが試行錯誤を重ねて試作したのが、世界初のワイヤーボンダーでした。

――なるほど。

キューリック　ほぼ同じ頃、カリフォルニアで創業したばかりのフェアチャイルド社やトランジトロン社の人々が、「ベル研究所で見たマシンと同じものをわれわれもほしいんだ」と頼みに来たんです。それで私どもの会社は、当初はベル研究所の特注マシンを製造するところから始まったんですが、やがて一般用のスタンダードなマシンを製造して販売するようになったのです。

ワイヤーボンダーの世界では、K&S社よりは後発メーカーである、日本の新川製作所について触れておこう。世界で最初にボンディングの自動化を実現したのが、この会社であった。現在、従業員総数三〇〇人、年間売上高一五〇億円、世界市場におけるシェアが四〇パーセント。キューリック・ソファー社と並ぶ二大メーカーである。東京都武蔵村山市にある大きな本社ビルに入ってびっくりすることは、応接会議室の多いことである。長い廊下の両側に、会議のできる応接室が端から端まで並んでいる。なかには、白板とテーブルとビデオテープの映写装置がセットされている。海外から頻繁にやってくるお客と商談をする部屋であった。一番賑わうときには、全部の応接室が満杯になるという。

昭和三四年に三鷹市新川町で創業。町の名前をとって社名が「新川」製作所。社員は総員一〇名、社屋が建坪九坪（約三〇平方メートル）の木造二階建て。一階が作業場になっており、二階が畳部屋。お客様が来ると、座蒲団を出してここで応接した。一階の作業場には、ボール盤がたった一台。工場と言うにはあまりに貧相な、家内工業同然の零細な工場であった。

ＩＣ用の手動ボンダー

創業当時の新川製作所および作業風景

仕事は、トランジスタの脚をピンセットでつまみ、ハンダ槽に入れて、三本脚にハンダメッキを施すことであった。メッキは下請けに出し、集荷した製品を検査して、トランジスタメーカーに納品した。やがてトランジスタ製造用のさまざまな治工具をつくるようになり、トランジスタの選別機や手動の組立て機などを、半導体メーカーの要請でつくるようになった。昭和三九年、東京オリンピックの頃である。

最初のボンダーは「シザーズボンダー」と呼ばれる手動のボンダーで、これを半導体メーカーの注文でつくった。ワイヤーを鋏で切断し、ワイヤーの切り口を曲げておいてゲルマニウムの電極部分に圧着する装置であった。作業者は、顕微鏡の視野の中にワイヤーを置き、三本脚とゲルマニウムの電極の間に、ちょうど田植をするように、一本ずつ金線を張っていったのである。

髪の毛より細い金線は、息を吹きかけただけ

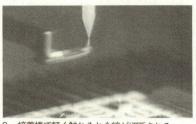
でも揺れ動くほどやわらかく頼りない。それを、拡大鏡をのぞきながらゲルマニウムの微小な電極部分に移動させ、接触させ、接着することは、神経の疲れる作業であった。それを支えたのが、トランジスタガールと呼ばれた女性従業員たちであった。

ＩＣ時代に入ると、事態が一層深刻になった。ワイヤーを張るべき端子が一挙に増えたのである。トランジスタ時代は、三本脚に二本のワイヤーをつなぐだけでよかった。しかし、ＩＣ時代に入ると、ムカデの脚の数だけ、たとえば一四本も一六本もワイヤーを張らなければいけなくなった。ＩＣ一個にボンディングする時間は急増し、したがって作業員一人のこなせる数は限られ、結果として、ワイヤーボンディングの仕事に要する人員は膨張の一途をたどった。ボンディング作業員の数をいかに確保するか。昭和四四年から四五年にかけてＩＣメーカーは、若くて健康な女性従業員を求めて奔走した。日本のＩＣ産業はまだ、彼女たちの目と手と根気に頼っていたのである。

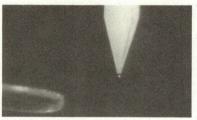
一方アメリカでは、キューリック・ソファー社が、作業員の適性に左右されないボンダーの開発を目指した。

毛髪のように細くてやわらかい金線を、いかにしたら楽に接合点に移動し、接着することができたのか。彼らの試行錯誤は、その一点に集中した。その結果生まれたのが、キャピラリというガラス製の固定器具である。次ページの写真Ａが、その一例であるが、先端が細いガラスの管に金線を通して固定することで、金線を自由に所定の場所に移動することを考えたのである。

右側に八ミリカメラのフィルムマガジンのような金属の箱が写っているが、この中にリールに巻いた金線が入っている。そこから、細く軟らかな金線がガラス管に誘導されながら外に顔を出す。金線は先が細くなっているガラス管に固定されているので、容易に動きやすい。この、ちょうどスポイト

A　キャピラリマガジン（右側）とキャピラリ

B　電気火花で切った直後の金線

C　接着棒で軽く触れると金線が切断される

D　金線の先端がボール状になる

のようなガラス管をキャピラリと呼ぶのだが、金線はキャピラリに固定され、チップ上の端子までに運ばれて、そこに圧着される。この方法が考案されて、金線接続の作業が非常に楽になったのである。

ところが、せっかく考案されたキャピラリにも弱点があった。肝心の金線が、何かの拍子にキャピラリの中に引き込まれてしまい、しばしば作業を遅延させる原因になったのである。そこで彼らが次に考案したのがボールボンディングとか、あるいはネイルヘッドボンディングと呼ばれる方法であった。これは、現在でもなお世界の半導体工場で使われている原理で、金線接続に革命をもたらした方法であった。

その仕組みは、こうである。金線を端子につないだあと、電気火花で金線を切る。すると火花が飛んだあと、金線の先端には玉ができる。金線が何かの拍子にキャピラリの中に引き込まれようとしたとき、この玉が邪魔をして、金線

はキャピラリの中に吸い込まれないで済む。

写真Bが、金線を電気火花で切った直後の様子で、金線の先端が玉になっている。写真は、フェアチャイルド社の技術者がもっていたものである。彼は、「これはフェアチャイルド社の画期的な発明」と言っていた。ボールボンディングがK&S社のアイディアだったのか、フェアチャイルド社のアイディアだったのかは、特許まで当たる余裕がなかったので、判然としない。

ボールボンディングの、半導体産業史に果たした役割は、この技術の登場で自動化の道が開けたことである。やわらかい金線を、キャピラリの中に引き込まれる恐れなく自由自在に移動させることができるようになったからである。たとえば、現代の自動ボンダーを子細に見ると、ボールボンディングが自動化の基礎であることがよくわかる。

写真Cは、キャピラリがLSIの電極端子まで金線を運び、接着した瞬間である。キャピラリをわずかに引き上げたところで、金属の接着棒で金線に軽く触れると火花が飛んで金線は切断される。その瞬間に写真Dのように金線の先端が溶けてボール状になるので、このままキャピラリを自由に移動させても、玉のおかげで金線がキャピラリの中に引き込まれない。したがって、すぐに次のボンディングに入ることができるのである。このように、ボールボンディングが登場しなかったら、ボンディング工程の自動化は絶対にできなかったに違いない。

■東南アジア製アメリカブランドのIC

さて、ここからが日本とアメリカの明暗を分けた大事な点である。この絶妙な仕組みを見たアメリ

カの半導体メーカーは、ボンディング装置の自動化を要請する道は選ばなかった。だれもが使えるこの装置を大量に買って、東南アジアに持っていったのである。扱いやすい装置なら、東南アジアの女性たちでも操作できるだろうし、労賃の安い彼女たちを雇えば、最も人手を必要とし、したがって人件費も嵩むボンディング作業のコストが激減するだろうと考えた。自動機を開発するよりも、東南アジアの低賃金に頼るほうが、短期的には合理性があるように思われたからである。

この点をキューリック・アンド・ソファー社の社長が、次のように証言している。

キューリック　私どもが当初、ベル研究所やWE社のために開発したワイヤーボンダーは手動の機械で、オペレーターが手でマシンのアクションをコントロールしていました。もちろん、機械は改良に改良を重ね、手動機械としては最高のレベルまで洗練させていきました。

――なるほど。

キューリック　これらの機械を武器に、アメリカの半導体メーカーは、その組立て工程を東南アジアに移していったのです。労賃が非常に低かったからです。そんなわけで、私たちは当初自動化についてはあまり気にかけませんでした。

東南アジアに組立て工場を進出させたアメリカのICメーカーは、フェアチャイルド社にとどまらなかった。TI社、モトローラ社、いずれも巨大な装置と高い技術が必要なウエハープロセスはアメリカ本土の工場で行い、そこで完成したウエハーを東南アジアの工場に運んだ。ウエハー上のチップを切り離すダイシング、チップをリードフレームに接着するダイボンディング、チップ上の端子とリードフレームを金線で接続するワイヤーボンディングなどの、いわゆる後工程を、東南アジアの女性たちにやらせたのである。高度な技術と装置が必要なウエハープロセスは、それほど多くの人間を必

要としなかったが、ウエハー上のチップが切り離されることから始まる後工程には、膨大な数のチップを処理する膨大な数の人間が必要であった。最も人件費の嵩む工程であった。
このコストを安くすることで、東南アジア製のアメリカブランドのICが驚異的な低価格で日本市場を襲った。当時、最も多くICを使っていた日本の電卓メーカーも、こぞって使ったのである。
日本電気のIC生産ラインを担当していた鈴木政男さんは、次のように述懐する。
鈴木　われわれは、東南アジアでつくられたアメリカ製ICと価格競争ができませんでした。なにしろ、値段がわれわれの一〇分の一くらいですから。日本製のICは、もう絶体絶命に追いつめられたんだ。そこで、低賃金に対抗するには二つのことを実行するしか道はなかった。一つが、信頼性を一〇〇パーセントに近づけるために徹底的な品質管理をやること。もう一つが、本格的な自動化に踏み切ることでした。
ワイヤーボンダーのメーカー「新川」の専務取締役藤山健二さん(五八歳)も、当時の事情を次のように回想している。藤山さんは、早稲田大学を卒業したあと昭和三四年に新川製作所に入社した。当時はまだ、家内工業に毛が生えた程度の零細企業であった。会社では一貫してボンダーの開発に当たってきたが、ボンダーの世界に大きな転機をもたらしたのが、東南アジア製のICが登場したこと、二つの世界的な経済危機であったという。
藤山　半導体装置の自動化を一挙に推進したのは、東南アジアの低賃金でした。アメリカのICメーカーのほとんどが、コストを下げるために工場を東南アジアに進出させました。ウエハーまでの工程はアメリカで行い、それを東南アジアの工場に運び、安い労賃で現地の従業員に組み立てさせたのです。ウエハーからチップに切り出して、リードフレームに載せ、

ワイヤーボンディングする仕事を東南アジアの工場で行ったのです。こうして、非常に低価格のICが日本に入ってきたのですが、日本の半導体メーカーがこれに対抗するには、機械の自動化しか道がなかったのです。

――なるほど。

藤山　それともう一つ大きな要因になったのが、二つのショックだったと思います。昭和四六年に日本を襲ったニクソンのドルショックと、二年後の石油ショックでした。なにしろ、日本の企業は従業員を解雇するのをあまり好まないんですね。ですから、膨大な数の女性従業員を抱えながら、多少の不況では解雇をできるだけ避けてきたんです。しかし、ニクソンショックと石油ショックでは、女性従業員を大量に解雇せざるをえませんでした。これらの二大ショックのあと、工場側は従業員を再び集めることを極力抑え、その代わりに工場設備の自動化に走ったんですね。

藤山健二氏

東南アジアの安価なICに市場を奪われた日本の半導体メーカーは、半導体製造の後工程を自動化することで対抗しようと考えた。日本電気の生産技術者たちがまず考えたことは、輸入機械の改造であった。輸入したボールボンダーをマイコンで制御しようと考えた。先にマイコン開発のくだりで触れたが、日本電気のマイクロプロセッサーチームは、「ミューコム4」という四ビットのマイクロプロセッサーをつくったが、どこにも売れなくて結局、自社製の自動ボンダーに使ってもらったと鈴木宗一さんが証言してくれた。自社製のマイクロプロセッサーを使ってボンディングマシーンの自動化を

推進させたのが、日本電気玉川事業所の生産技術者鈴木政男さんであった。

鈴木　昭和四〇年代に入りますと、われわれは必死になって自動化を推進しましたよ。

――はい。

鈴木　ネイルヘッドボンディング（ボールボンディングのこと）ってのは昭和三九年から四一年頃アメリカの天才が考えだして、世界中が使いだしたんですね。

――それで鈴木さんも真似して？

鈴木　いや、真似するなんて悠長なことは言ってられない。すぐに機械を輸入して自分たちで自動機に改造しちゃったんです。スピードが五〇倍ほど上がるようにね。

――うひゃー、五〇倍！

鈴木　ところが、いちばん難しいのはね、金線にゴミがついて、ガラスでできたキャピラリの内面に傷がつく。すると、線がキャピラリの中で擦れて、またゴミが出る。やがて目詰まりを起こして、金線がプッツリと切れてしまう。そうなると、キャピラリごと捨てて、新しいものと取り替える必要がある。だからキャピラリの消耗が非常に激しかったんです。

――じゃあ、大量のキャピラリを用意しておかなければいけなかった？

鈴木　ところが、キャピラリなんて日本には当時売ってなかったわけですよ。それで僕は、寒暖計の両端を切って、水銀を抜いちゃいまして、それをバーナーで焙(あぶ)りながらのばしてキャピラリにしたんです。

――それで寒暖計の残骸が、山をなした。

日本電気製のマイクロプロセッサー「ミューコム4」をどのようにボンダーの自動化に使ったのか

は、鈴木政男さんの話からは、うかがい知れなかった。寒暖計の残骸が山を築いたというのは、たぶん輸入機を自動ボンダーに改造したあとの話に違いない。自動化でボンディングのスピードが上がったものの、肝心のキャピラリの補給がつかない。窮余の一策で水銀寒暖計を使ってみると、これが意外にうまくいったのである。かくて寒暖計の残骸が山をなした。

鈴木　輸入したままのスタンダード・スピードでやってた日にゃ、東南アジアの低賃金に対抗できませんから。改造してスピードを五〇倍以上の速さにすれば、低賃金に対抗できた。

——なーるほど、改造は東南アジアの低賃金対策だったんですか。

鈴木　しょせん、人間の低賃金なんてものは限界がありまして、たかが知れているんですね。低賃金でコストを下げようったって、一〇分の一にでも落ちればもう限界でしょうが。ところが、機械化するとたちまち速さは五〇倍くらいになる。しかも自動化をすることによって人手を通さなくなりますから、歩留まりが上がり、品質が猛烈に向上する。自動化こそ一石二鳥の解決策だってことに、われわれは気がついた。

——それで、寒暖計の残骸が山をなした。

鈴木　しかし、それで自動化が日本では発達しちゃったんですよ。ですから、自動化の嵐は東南アジアの低賃金から自分を守るためにやむなくとった道で、言うなれば自衛手段でした。

マイクロプロセッサーへの着目

半導体メーカーの強い要請でボンダーの自動化に着手した「新川」でも、マイクロプロセッサーに

注目した。

最初にマイクロプロセッサーに注目したのは、当時、トランジスタの自動選別機を開発していた山崎幹也さん（六九歳）であった。いつも笑顔を絶やさない温厚な方だったが、こちらが、どんなに大きな声で質問をたたみかけても、山崎さんの声はあくまで小さく、はにかみながら、聞かれたことだけにしか答えてくれない。要するに、山崎さんは口下手で昔気質の技術者。いわゆるテレビ屋泣かせの出演者であった。

そんなインタビューの断片を活字の上でつなぎ合わせてみると、次のような流れるような対話になった。

――そもそもマイクロプロセッサーに注目したのは？

山崎　一九七〇年（昭和四五年）のことでしたが、専門誌『電子材料』を発行している工業調査会が米国半導体産業視察調査団のツアーを募集したことがありまして、私はそれに参加いたしました。そのツアーでインテル社を訪問したんですが、ロバート・ノイスの話を聞いたり工場を見学したりしまして、私は、インテル社という企業に深い感銘を受けました。実際に工場で完成していたのは二キロビットのメモリーでしたが、世界中のコンピューター・コアメモリーを半導体メモリーに変えるのだと、ドクター・ノイスは熱っぽく語っておりました。そんな体験から、インテル社の仕事や製品には強い関心を寄せていました。

山崎幹也氏

――なるほど。

山崎　そんなインテル社の製品が、翌一九七一年（昭和四六年）になって『日経エレクトロニクス』に大きく取り上げられました。それが「インテル４００４」というマイクロプロセッサーでした。さっそくマニュアルを代理店から取り寄せて読みました。その冒頭に書いてあったことは今でも忘れません。「仕様の変更が、ハードを変えることなくソフトを組み替えるだけで可能です」とか、「ソフトの改良だけで装置の陳腐化を防げます」とか書いてありました。

――何が、山崎さんの問題意識を刺激したんですか。

山崎　これを使えば、私が当時取り組んでいたトランジスタ選別機が飛躍的に合理化できる。つまり、それまでは計測すべき項目などスペックが変わるたびに設計し直し、装置全体をつくり直していました。しかしマイクロプロセッサーを使えば、装置を変えることなく、ソフトプログラムを変えるだけで済むわけです。これは、当時の私には非常に魅力的なことでした。

当時、山崎さんは、リレースイッチを組み合わせた自動制御用のシーケンススイッチやそれを駆使してつくるトランジスタの自動選別機を担当していた。さまざまにバラツキのあるトランジスタを自動的に特性別に分類仕分けする装置であったが、半導体メーカーの要請で選別機をもっと能率よくすることに腐心していた。彼はマイクロプロセッサーを、まず自動選別機に使ってみようと考えた。

山崎　ですから、私が最初にマイクロプロセッサーを使おうと考えたのは、自動ボンダーではなかったのです。まず、トランジスタの自動選別機にマイクロプロセッサーが使えないだろ

うかと考えたのです。そこで「4004」のマニュアルで勉強し、実際には「8008」でマイコンを試作しました。英語のマニュアルを読むのも大変でしたが、それ以上に苦労したのが、コンピューターの原理と実際を勉強することでした。「8008」と組み合わせて使うROMやRAMはまだ機種が揃っていませんでしたので、既存のICで代用回路を組んで「8008」を駆動しました。

——何を動かしたんですか。

山崎　もちろんトランジスタの自動選別機です。マニュアルを手にソフトを組んだのです。最初はこんなことで選別機がこちらの狙い通りに動いてくれるのだろうかと疑心暗鬼でしたが、やってみると、あっけなく動いたので本当に驚きました。昭和四七年のことです。

——マイコンの試作は一応、上層部には提案をなさったんですか。

山崎　稟議書を書きました。すると、社長も専務もすぐに賛成してくれましたが、お二人から異口同音に「それを自動ボンダーに使えないか」と言われました。実はメモリーだって当時は二キロビットのチップが一個二万円もしていましたし、「8008」は確か一個四万円以上でしたから、ボンダーなどに使うのはもったいないと思ったのですが、使ってみることにしました。

日本のメーカーが世界的メーカーに

ウエハーから切り出されたICチップのことをダイと呼ぶのだが、このダイをリードフレームの所

定の位置に載せて圧着させる作業をダイボンディングと言う。このダイボンディングが正確に行われないと、このあとに続くワイヤーボンディングの自動化は不可能であった。キャピラリが自動的にワイヤーを繰り出しながら、リードフレームの脚とチップの電極部をつないでいくのだが、極端な話、チップが逆さについていたり、斜めについていたら、キャピラリは正しい結線ができなくなる。手動機の場合は人間の手で治せば済むことだが、自動機の場合は簡単ではない。

ダイボンディングの工程も当然、自動化したのだが、リードフレームにつけるときチップの位置が微妙にずれてしまうことが少なくなかった。現在の最新鋭機械は、この位置のずれを光センサーで感知して、キャピラリの動作を精密に修正していくのだが、当時はそのような高級な動作までは考えていなかった。

すなわち、ダイボンドされたチップの所定の二点を人間がマイコンに記憶させ、その位置情報を手がかりにマイコンが動作の修正指令を出すように設計したのである。

実際には、人間の手でキャピラリをチップ上の二点まで誘導し、キーボタンを押すと、位置情報がマイコンに送られる。すると、マイコンはその位置を基準にして機械の動作を割り出し、指令を機械に送り、機械がその命令に従ってワイヤーを自動的に接続したのである。つまり、マイコンを位置の自動補正にだけ使ったのである。

山崎　その程度のことなら、高いマイクロプロセッサーを使わなくても、普通のＩＣでロジック回路を組んでやればできることでした。

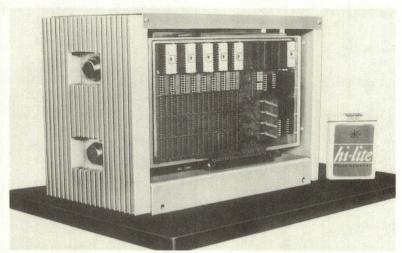
——じゃあ、マイクロプロセッサーを使ったのは無駄なことでしたか。

山崎　とんでもない。使ってみると、マイクロプロセッサーの有効性と無限の可能性をすぐに悟

世界初の自動ボンダー（新川製）

りました。プログラムの組み方次第で機械にさまざまなことをさせることができると確認できたからです。マイコンをボンダーに組み込んで自動ボンダーとして発売したのが昭和四八年。それがあくなき自動ボンダー追求の第一歩でした。

機械の前に座る作業員が、チップ上の二点にキャピラリを合わせたあと、スタートボタンを押す。するとあとの一四ピンとか一六ピンに対しては機械が自動的にワイヤーを張ってくれた。しかし最初の位置合わせだけはチップ一個ごとに、人間が手作業で行う必要があった。ところが、これでも作業能率は四倍に増え、生産性は倍加した。半導体工場側では、この機械の使い方を工夫して生産性を何倍にもすることができたのである。チップ上の二点を位置決めするのは作業員がやる。そのあとは機械がワイヤーを自動的に張ってくれるから、その間作業員は機械が結線し終わるのを待っている。この時間がもったいないというわけで、一人の作業員に二台受け持たせた。一台の機械がボンディングしている間に、作業員は、もう一台の位置合わせをする。こうすることで、出来高は八倍になった。

この使い方の生産性に着目した半導体メーカーは、今度は、一人で五台を操作できるシステムを開発してほしいと言ってきた。一基の操作パネルで五台の機械を管理する方法であった。操作机には、

インテル8008で試作したマイコン

1人で5台操作する半自動ボンダー

機械を操作するのに必要なコントロールボタンとブラウン管のモニターがついている。作業員が一号機に切り替えると、一号機にセットされたチップの顕微鏡映像がモニターに映し出される。それを見ながら、作業員は遠隔操縦で位置合わせをして、スタートボタンを押す。一号機がボンディングを開始したことを確認して、操作パネルを次の二号機に切り替えて位置合わせをする。

当時は、ＩＣのピン数も二八ピンとか三〇ピンに増えて、ボンディングの時間も長くなった。それを逆手にとって、一人が五台を操作する仕組みをつくり上げてしまった。ＩＣのピン数が倍になったのに、作業員の生産性は一挙に二五倍に急増した。同じ仕事量なら二五分の一の人数で済むことになった。このシステムの導入で、ボンディング作業員を劇的に減らすことができたのである。

藤山　私どもが世界で最初にマイクロプロセッサーをボンダーに使ったのですが、それが半導体生産の現場に与えた衝撃は、非常に大きかったと思いますね。

――なるほど。

藤山　この自動ボンダーが完成した昭和四八年秋に、第一次石油ショックが来まして、各社とも大量のＩＣガールを解雇せざるえなくなりました。その代わりに、手動ボンダーを自動機に変えるところが続出しました。ですから、「新川」にとりましては、石油ショックが自動ボンダー普及の追い風になったのです。

――初めから飛ぶように売れたんですか。

藤山　いえ。当時は石油ショック後の不況が深刻で、どこに行っても相手にされませんでした。それに何しろ、カタログも何もなしで始めたものですから、お客様としても疑心暗鬼なわけです。そこで、なんとか説き伏せてお客様を本社の実演展示室までお連れして、現物を

見ていただきました。実際に実演してお見せしますと、ほとんどのお客様の目の色が変わりまして、間もなく注文がいただけました。

自動化では日本に一歩先を譲ったキューリック・アンド・ソファー社も、「新川」のあとを追うように自動ボンダーを開発した。日本市場では、完全に「新川」に奪われた市場を次第に奪い返してきた。今では日本でも「キューリック・アンド・ソファー社」と「新川」は、市場を二分している。いったんは日本市場で手痛いシェア急落を体験したキューリック・アンド・ソファー社のスコット・キューリック社長は、日本におけるビジネスの経験を次のように語っている。

キューリック　わが社が日本の半導体市場に浸透していくには、さまざまな厳しい困難を乗り越えなければなりませんでした。私たちは数年間も努力をしてきました。そして、今ようやく日本の顧客の信頼を得ることができたところです。

——日本市場の特異性は何かお感じですか。

キューリック　日本のお客様は、非常に要求水準が高くて厳しいことです。マシン自体の信頼性が高いこと。納期をきちんと守れること。知識をもったサービススタッフがいること。スペアパーツが常に完備していること。機械据え付け後に問題が出た場合でも、きちんとお客様を助ける態勢ができていること。これらを完全に実行できないと、日本市場には入れません。

——日本でのビジネスのコツはなんだとお考えですか。

キューリック　単純なことです。最高の技術、信頼性のある製品と優秀なサービス、そして会社全体で顧客の要望に奉仕すること。しかしアメリカの経営者たちは、これではあまりにも

単純過ぎると言って信じないに違いありません。日本で成功するには、何かわれわれの知らない仕掛けがあるに違いないと思ってね。しかし、日本市場に何か特別な仕掛けがあるわけじゃありません。最高の技術、信頼性のある製品と優秀なサービス、そして顧客の要望に徹底的に応えること。これが成功の秘訣です。

一方、最初はアメリカ市場ではまったく無名のメーカーとして出発した新川製作所もまた、アメリカでさまざまな体験をした。そこでの教訓を、新川製作所の藤山健二専務は次のように語っている。

藤山　今になって思うことは、私どもは先見の明があってボンダーの世界に参入して飛躍したんじゃないんですね。お客様のニーズに忠実に沿って仕事をしているうちに、気がついてみたら、ボンダーの専門メーカーになっていた。

——それも世界二大メーカーの一つに。

藤山　それも結果論でして、それを目指したわけでもないんです。ひたすら機械の性能と信頼性を高めることに心を砕き、アフターサービスを徹底したに過ぎない。アフターサービスのできないところには機械を売ってはいけないし、逆に、いったん売った機械は万難を排して面倒を見る。これだけを金科玉条のごとく守ってやってきただけなんです。とにかく、お客様に可愛がっていただくことだけを心がけてきた。その賜(たまもの)だと思っているんです。

図形密度アップによる新装置

LSIにつくり込む回路図形がどれほど複雑で細密なものかは、拡大したマイクロプロセッサーの

マスク原図を撮影するときに私たちは実感した。

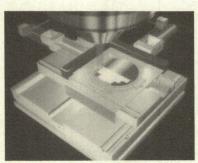
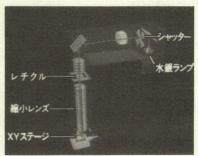
本巻の第4章一八七ページに掲載した写真は、コンピューター描画装置がプリントアウトした原図を肉眼で点検できる大きさに拡大したものである。線幅を約五ミリにして打ち出すと、全体が八メートル四方になる。これをウエハープロセスで七・一八ミリ×七・五四ミリ角のシリコン表面につくり込んだものの全体が、同じく本巻第1章三二ページに掲載してある写真である。それをさらに拡大したものが、第4章一八七ページに掲載した顕微鏡写真である。線と線の幅が一ミクロン(一〇〇〇分の一ミリ)以下である。

さて、回路図形は、座標軸の位置データに変えて磁気テープに記録させてある。この磁気テープと感光剤を塗ったガラスを電子ビーム描画装置にセットして、スイッチを入れる。すると、磁気テープに記録されているデータに基づいて、電子ビームがガラス上の感光膜に回路図形を描いていく。これが、フォトマスクとかレチクルと呼ばれる、いわば写真におけるネガに相当するものである。

感光剤を塗ったシリコンに、このフォトマスクを重ねて光を照射することで、回路をシリコン表面に転写する。光の当たったところが硬化するか、光の当たらないところが硬化するかは、感光膜がネガタイプかポジタイプかで異なるが、いずれにしても、ガラスに転写した回路図形をシリコン表面の感光膜に結ばせる必要がある。

ICの集積度がまだそれほど上がっていない時代は、ウエハーとフォトマスクが一対一の大きさであった。したがって、ウエハーに載せるチップと同じ数の図形が、フォトマスクに転写されていた。ところが、同じ回路図形を一〇〇個以上もガラスに焼きつけるとなると、一個の面積に縮小できる精度には限界がある。精度が悪くなれば、焼き込める回路の密度が限られ、したがって日々上がってい

C　レンズ群とフォトマスク（レチクル）

A　フォトマスク（レチクル）

D　ＸＹステージ（シリコン表面に次々と焼きつけていく）

B　ステッパーの全体構造

くＩＣの集積度には耐えられなくなった。

これを解決するには、フォトマスクには大きな図形を焼き込み、これをシリコンに縮小転写するときに一個ずつ投影すればよい。シリコンウエハーの端から一個ずつ順次焼きつけていくのである。こうすることで、フォトマスクの図形面積を大きくとることができ、したがって図形密度を上げることができ、高い集積度のＬＳＩに対応できるわけである。これがステップ・アンド・リピートという方法であり、それを行う機械がステッパーという装置である。

写真Ｂは、ステッパーの構

造と動作を絵にしたものである。装置の右上に置かれた紫外線ランプから出る青い光は、レンズを通り、プリズムで直角に曲げられて、垂直に立つレンズの筒に送りこまれる。装置中央部には、巨大な回路図形を縮小転写したフォトマスク（レチクル）が置かれている。フォトマスクを通過する光線は、再びレンズを通ってウエハー表面に像を結ぶ。ウエハーが載るステージが精密に縦と横に動いていき、その動きと光が同期して、フォトマスクの回路図形が順序正しくウエハー上に転写されていく。

昭和四〇年代の後半期、日本でもＩＣ産業が次第に軌道に乗っていくにつれ、ＩＣメーカーが日本光学工業（のち昭和六三年四月に、「ニコン」に社名変更）の技術に着目するようになった。彼らが人間の眼では及ばない対象物の計測や形状認識のできる光学機器の開発を、「ニコン」に強く要望した。そんな関係で、「ニコン」はまず検査機とか測定器の分野で半導体業界とつながりをもつようになった。

いちばん最初に「ニコン」が手がけたのが、フォトマスクの計測装置をつくることだった。ＩＣをつくっていくプロセスでは、フォトマスクがしっかりできていないと歩留まりが悪くなる。したがって、フォトマスクの管理が大変重要な技術であった。特に、フォトマスクに描かれている図形の精度をどうやって計測して管理するかということが重要視された。

フォトマスクを管理するには、一ミクロン（一〇〇〇分の一ミリ）というレベルの長さを測る機械が必要であった。一ミクロンを正確に測るためには、計測器の能力は〇・一ミクロン（一万分の一ミリ）が必要であった。当時は、一ミクロンの測定をすることすら難しい時代であった。

この〇・一ミクロンの計測能力を実現するために、それまでになかったまったく新しい方法を編み出した。そのためには、二つの重要な機器を開発した。光を感知して電気に変える光電センサーと、Ｘ軸・Ｙ軸を超精密に動かすメカニズムである。この二つを組み合わせることで、ある点の座標位置

が精密に測定できるようになった。この装置は、フォトマスクの精度に悩んでいたＬＳＩメーカーに絶賛を博した。フォトマスクの精度を精密に計測できるようになったのである。

光学機器メーカーによる露光装置開発

半導体メーカーには大好評を博し、これがステップ・アンド・リピート方式の回路転写装置に応用できるのではないかと期待された。

シリコンウエハーにＩＣのパターンを転写する方法は、初めは、日光写真のように、密着型であった。作業用のガラスマスクに感光剤を塗ったウエハーの上から密着させて露光させた。ところが、これではいろいろゴミが付着したり傷がついたりしてトラブルの原因になる。そこで、ガラスマスクとウエハーを密着させないで焼きつける方法がないものかと模索するようになった。密着させなければ、ゴミも出にくいし傷もつきにくい。

またＩＣ時代の初期の頃は、フォトマスクに焼きつける回路図形もウエハー上につくり込むＩＣの数だけ縮小転写した。それをウエハーに密着させて、露光した。これを「一対一方式」と呼んだが、ＩＣの集積度が上がってくるにつれ、この方式では解像力に限界があるということがわかってきた。

そこで次に考えられることは、ステップ・アンド・リピートという方式であった。極端な言い方をすると、まずＩＣ一個分のパターンをガラスマスクに転写する。その像を光学的に縮小しながらシリコンウエハーの上に一個ずつ、必要な数だけ焼きつけていくのである。

この方式だとフォトマスクをウエハーに密着させる必要はないし、マスクの面積を大きくとれるの

で、高密度なパターンもウエハーに転写できる。実際にはフォトマスクにはたった一個ではなくて、複数個のパターンを転写してあるのだが、ウエハー搭載個数が一〇〇を超えるのに比べるとはるかに面積を大きくとれ、したがって回路密度を上げることができた。

この方式の発想はかなり前からあったが、スピードが遅いという弱点があった。何しろウエハー上にチップの数だけ一個一個焼きつけていくので非常に能率が悪い。一度にチップの数だけ露光してしまう「一対一方式」と比べると、まったく生産性が悪くて商売にならなかった。しかし、ICの集積度競争が激しくなるにつれ、ICメーカーは「一対一方式」から「ステップ・アンド・リピート方式」に転換せざるえなくなったのである。

フォトマスクの計測装置を開発する過程でXY軸の精密駆動メカニズムにも精通するようになった。印刷用の光学系も、古くから解像力の高いレンズの開発を別のグループが非常に熱心に進めていた。印刷用の特殊なレンズは、解像力の高さでは圧倒的な評価を得ていた。この超高解像度のレンズとX軸・Y軸の精密制御技術を組み合わせることで、ステップ・アンド・リピート方式の機械ができるのではないかと「ニコン」の技術者たちは考えた。そこで、レンズ開発グループとXYステージ開発グループと、設計者のグループが一致団結して、IC製造に時代を画する装置をつくってみようではないかと話し合ったのである。ステッパーと言われる高度な露光装置の開発が、こうして始まったのである。その中心人物が、当時精機事業部精機設計部ゼネラルマネージャー兼精機営業部ゼネラルマネージャーの吉田庄一郎さん（現在専務取締役、六〇歳）であった。なお、吉田さんは昭和二九年東京大学工学部精密工学科を卒業して日本光学に入社した。

――ステッパーの開発を「ニコン」に発注したのはどこだったのですか。

吉田庄一郎氏

吉田　当時通産省が主宰なさっていました「超ＬＳＩ技術研究組合」でございまして、そこからお話がありまして開発にとりかかったのです。ところが、試算してみますと一枚のウエハーを焼きつけるのにそれこそ一時間もかかるというわけです。それではとても話にならない。それでも、こうしたらどうだとか、ああしたらどうだと改良を積み上げまして、ようやく一枚のウエハーに焼きつける時間を一五分に短縮することができました。

——さて、お客様の反応は？

吉田　ウエハー一枚処理するのに一五分も時間がかかるんだったら、従来の方法で結構だという結論が一時は出たんですが、ＩＣの集積度が従来の方法では間に合わない領域へきてしまったんでしょうね。時間はかかっても、新方式を使ってみようかということになったんです。

——一号機はどのくらいの大きさだったんですか。

吉田　おおよそ、長さが二メートルぐらいあったんじゃないでしょうか。非常に大型な装置だったと思います。しかも複雑な形をしていまして、外見は〝馬〟のようでした。

——精度は？

吉田　スピードは今申し上げたように一枚に一〇分とか一五分もかかったんですが、解像度が一・三ミクロンから四ミクロン。これだけは絶対の自信がありました。

最初に試算したら一時間かかると予測したものが、改良に改良を重ねて一五分に短縮できた最大の要因が、マイクロプロセッサーの導入であったという。

もう一度、ステッパーの動作を思い出してみる。X軸・Y軸に自由に動くステージの上に、ウエハーを載せる。マスクパターンの図形は、光学系を通ってウエハーの表面に像を結ぶ。ステージの動きと露光のタイミングを同期させることで、ウエハーの上に図形を次々と焼きつけていく。ステージが少し動いて露光、また少し動いて露光という動作を繰り返していく。一回の露光面積が一〇ミリ角。一か所に露光すると、次はステージを一〇ミリ横にずらして隣へ焼きつける。これを誤差〇・一ミクロンぐらいの精度で焼きつけていこうということになると、ゆっくりと慎重に位置決めしないと不可能だった。

現在では目にもとまらぬ速さで露光ができるようになっているが、それは、この位置決めの技術が格段の進歩を遂げたからである。なぜ、それが実現できたのか。

吉田　それは簡単なことです。高性能なメモリーやマイクロプロセッサーを積極的に使ったからです。特にマイクロプロセッサーは、制御技術を飛躍的に向上させてくれました。非常に正確で高速なステッピング技術が実現できたのも、マイクロプロセッサーの利用によるところが絶大だったと思います。われわれのステッパーが半導体素子の能力を飛躍させ、それが今度は半導体装置の能力を飛躍させたわけです。

——産業が良循環になるか、悪循環になるか、それを左右するのが半導体能力だというわけですね。

吉田　そうだと思います。

ウエハーを切るダイシングマシンも、金線を接続するワイヤーボンダーも、リードフレームを打ち抜く精密金型を加工する工作機械も、あらゆる半導体製造装置が、マイクロプロセッサーをいち早く利用することでその性能が急速に飛躍していったことはすでに見た通りである。ステッパー開発においてもまったく同じことが言えるようである。「半導体」の性能向上が半導体「製造装置」の性能を向上させ、半導体「製造装置」の性能向上が「半導体」の性能を向上させる。技術全体が悪循環に陥るか良循環で飛躍するか、その鍵が半導体メモリーとマイクロプロセッサーであったことは間違いない。しかし、それらの誕生には、いずれもアメリカの技術者たちの才能と努力に負うところが大きかったことは、本巻の前半で見た通りである。

発想も方法も異なる技術者たちの結束

さて、ステッパーの開発に話を戻そう。ステッパーはまったく異なる技術の集合体であり、したがって開発プロジェクトのメンバーもレンズ、機械装置、マイコンソフト、システム設計と考え方が大きく異なる技術者たちの集団であった。この異能集団を、どうやってステッパー開発という一つの目的に統合していくことができたのだろうか。

吉田　高解像力のレンズ設計者たちは主に、物理学を学んだ理学部系の人たちでした。それから、私どもはステッパーの技術者でした。XYステージと呼んでいますが、XYステージの設計者たちは、機械工学系の技術者でした。装置全体のシステムを構築した連中は、システム設計をやるエンジニアでした。そのほかには当然、コンピューターのソフトウェアを担当するソフトエンジ

ニアが必要でしたし、材料を担当する化学屋さんも若干入っていました。ですから、物理系、電気系、機械系、化学系、情報処理系と、それは大変異質な人材の集合体になりました。スタートしたときの人数は五人か六人でしたが、次第に膨らんでいき、一号機を設計した頃は一〇人ほどの規模になっていたと思います。

——いちばん心を砕いたことは？

吉田　私は当時は課長でしたが、異なった技術分野の人たちのもてる力を出し合って一つのシステムをつくり上げるにはどうやったらいいのか悩みました。ハードウェアでどこまでやるか。ソフトがそれをどこまでカバーするか。あるいは光学技術はここまでいくから、あとは機械技術のほうで助けてくれとか。お互いに助け合いながら仕事をしていかなければいけないわけですから、できるだけ一堂に会して話し合う機会を多く設けました。

——でも、和気あいあいということでもなかったんでしょうね。

吉田　それは激しかったですよ。場合によると、ケンカのようなことにもなるわけですね。

——殴り合いは？

吉田　いえ、それはありませんでしたが、もう侃侃諤諤（かんかんがくがく）、ずいぶん、夜を徹して議論を続けたこともありました。でもやはりお互いに言いたいことを言い合っていくと、最終的にはだれもが納得できる所に落ち着くんですね。落とし込む場所があるわけです。そこにたどり着くまで、徹底的に議論しながら試作機をつくっていきました。

ステッパーの成功は、レンズ、機械装置、マイコンソフト、システム設計と、発想も方法も異なる技術者たちが一つの目的のために、それぞれの立場からもてる能力のすべてをふりしぼったことにあ

った。したがって、それらのすべてに筆舌には尽くしがたい苦労があったことは言うまでもない。それだけで一冊のノンフィクションが書けるほどである。しかし本巻では「XYステージの水平を出す」という一点に絞って、その苦闘の跡を辿ってみたい。

これからお話を伺うことになる金子茂三郎さん(六六歳)は、大正一五年神奈川県鎌倉市に生まれた。旧大船小坂小学校高等科を卒業したのち、昭和一五年にニコンの前身日本光学に入社した。いちばん最初にやらされたのが高射砲の弾道計算機であった。幅一メートル、奥行き一メートル、高さ一メートルの大きなサイコロ状の箱の中に、歯車が一万五〇〇〇個から二万個も入っていた。いわゆる「歯車計算機」である。この歯車を精密に加工するのが、金子さんの仕事であった。

戦後すぐに舞い込んだ仕事が、双眼鏡の機械部分の改造であった。戦時中につくっていたスピーカーと呼ばれる野戦用の双眼鏡を、民生用に改造したのである。間もなく国土復興に使われる測量機器が売れるようになり、その機械部分を担当した。測量器は三六〇度回転するので、中心軸の垂直と回転台の水平を出すことが非常に難しかった。

やがて時代が落ち着くにつれ、学術医学用の顕微鏡が売れるようになった。朝鮮戦争の勃発とともに、アメリカの新聞記者が日本に大勢やってきた。彼らが「ニコン」のカメラを使うようになって、高級なカメラが爆発的に売れだした。こうしたカメラの駆動部分を五年やった頃、今度は平面検査機や芯出し検査機など検査機が売れだした。これを五年間担当したのちに金子さんは、ステッパーのプロジェクトに誘われた。

一九八四年(昭和五九年)、金子さんはステッパーなど半導体製造装置の開発に対する貢献が認められ、科学技術功労者として科学技術庁長官賞の栄誉に輝いた。ニコンの精密事業部副事業部長とニコンテ

ックの取締役副社長を経て現在、ニコンテックの常勤顧問である。

金子　ある日、私がつい「机上の空論でそんな図面を描いたってできやしないよ」と本音を言ったことがあったんです。そうしたら設計の人から反発を買いまして、「それだけ言うんならわれわれの会合に出てきて意見を堂々と言ったらどうだ」と逆ネジを食わされて、売り言葉に買い言葉で、「じゃあ、言わせてもらうことにしましょう」と吉田さんたちの会合に、のこのこ出ていってしまったんです。

——金子さんは何をおっしゃったんですか、そこで。

金子　私は終始、「並みの人たちとは仕事をしないよ、熱中している人たちと仕事をするんでなければやりませんよ」と言い続けたんです。

——金子さんの目から見たら、設計の人たちはまだ甘いというふうに思われたんですか。

金子　ええ、そのときは思いましたね。こんなことをやってて世の中に勝てるわけないじゃないかと。つくることなら決して負けないから、われわれを唸らせてくれるようなものを設計してくれと挑発したんです。

——向こうの設計の方も相当カチンときたでしょうね。

金子　ええ、彼ら顔を真っ赤にして、「あんたにそんなことを言われる筋はない」とか、「それならおまえらやってみろ」とか言われましたよ。

——殴り合いにはならなかったんですか。

金子　無論、胸ぐらをつかまえられたりし、飲んだ勢いでポカリとやられたこともありました。これは私だけじゃなくて、ほかの皆さんの間でもしょっちゅうあったことでして、議論が

激して、真っ青になって殴り合ったと何度も聞きました。私たちも二度ほど「生意気なことを言うな」って言うんでやられたこともありました。私の年長者でしたから手は出しませんでしたが、言葉の上では相当罵ったと思います。

■一〇〇キロ先の高さが五センチの傾斜

ステッパーの開発に参加するようになった金子さんがいちばん苦しんだのが、XY微動装置の水平を保つことだった。それこそが、ステッパーを成功させる重要なポイントであった。次ページの写真(下)のようにXYステージは、三つの部分からできている。①の台の上につくられたV字溝の上を②のXステージが走る。②のステージには、直角にV字溝が刻まれており、そこを③のYステージが走るのである。X軸の走りに対してY軸が真直角に交わっていること。そして四本のV字溝が絶対に水平に近いこと。これが必須の条件であった。しかし、これが容易ではない。

金子　ステージを、ほとんど絶対平面に保たなければいけないんですね。これが大変に難しい。たとえば、現在のステッパーを例にとれば、要求されております平面度と言いましょうか、逆に言えば傾斜の許容範囲というのが〇・二秒。直線で一〇〇キロメートル先の高さが五センチという傾斜。東京・富士間の高低差がわずか五センチ以内といった勾配しか許されない。これがステッパーのステージに許される平面度だというわけです。

——一〇〇キロ先の高さが五センチ?

金子　少なくともそういう領域の中で、平らと言いますか平面度に仕上げなければいけないとい

砥石の持ち方を示す金子茂三郎氏

ＸＹステージは三つの部分からできている。①のステージの上につくられているＶ字溝の上を②のＸステージが走る。②のＸステージには直角にＶ字溝が刻まれていて、そこを③のＹ字ステージが走る

うのが私たちの仕事になるわけです。ここまでくると理屈じゃなくて、昔のカン、コツと言うんですかね、〝左甚五郎〟的と言いましょうか、いわゆるその物を通して自分の肌で感じていくという仕事になるんですね。

――そうした技術は、ステッパーをつくるときに身につけたものですか。

金子　いえ、ステッパー以前に私たちが長い間かけて築き上げてきたものです。特に昭和四七年に取り組んだ平面検査機は、ステッパー以上に平面度が要求された装置でした。やっちゃ壊し、やっちゃ壊し、それでだんだんと、ここがおかしい、あそこが悪いといった具合に、少しずつ少しずつ経験とノウハウを蓄積したのです。

私たちは、その神業を撮影させてほしい、と頼みこんだ。しかし、いくら頼んでも「こればかりは公開できません」という答えが返ってきた。わずかに、その感じだけを機械と離れた場所で再現してくれた。

機械が研磨したあと、小さな砥石を手で持って、部分的に仕上げていくのである。当然のことながら、最初は精密工作機械で加工する。

次に、フライス盤である程度V状フラットをつくる。それを表面研磨機という一種のグラインダーで面をつくっていくのだが、これだけではよい面ができない。理想的には、グラインダーを〇・二秒とか〇・三秒とか〇・五秒とかという短い時間だけ使って研磨したいのだが、それができない。最低でも一秒とか二秒になって、研磨し過ぎてしまうからである。おまけに具合が悪いことには、グラインダーというのは、砥石を回転させて研磨するので、磨かれた面が、おおげさに言うと、デコボコと波打ってしまう。したがって、機械に頼っている限りは、要求される平面度は絶対に実現できないと

いうわけである。

だから、仕上げの研磨は常に人間の手でやる必要がある。機械がつくったデコボコを、手で磨いては測定し、測定しては手で磨くといった作業を、気長に丹念に繰り返していく。ちょうど日本刀を研ぐように、砥石を手に持って研ぎ出していくわけである。最初は目の粗い大きな砥石で磨き、次第に目の細かい砥石に替え、最後に仕上げ砥石で鏡面のように研ぎ出していく。

金子　平面検査器のコリメーターがピクッとグラフに出てくると、今度は小さな砥石を使いまして、そこのところだけを研ぎ出していくわけですね。これを無数に繰り返して徐々に平らな面をつくっていくわけです。そういうことを三か月も四か月もやっていかなければなりませんので、作業者には大変な根気が必要です。普通の人間では頭がおかしくなってしまいそうになるんですね。

――へえ。

金子　ただ平らな面をつくると言いますと、何の変哲もないように思うでしょうが、忍耐力がないとできない。朝八時から研磨作業に入りまして、五時までぶっ続けで磨き続けるということが普通でした。ここが高いから削る。また測定をして、今度はここが高いから、また削る。こんな作業を朝から晩まで、四か月もやっていたんです。

――先端技術も、最後のところでは人間に支えられているんですね。

金子　こういう作業というのは自分との闘いですから、自分に負けるような人はこうした領域の仕事には向かない。普通の仕事をすればよいわけです。ですから、技量のうえでも性格のうえでも、向き不向きがあると思います。適性のある人材を大切に育てるということが非

常に大切だと思うんです。

部分的な研磨をするたびに、ステージを動かし、自動平面検査装置をのぞく。基準線に対してステージがどう動いているかが数字で表れる。ステージをいろいろと動かしてみて、ローリングや捩(ねじ)れの様子を精密なグラフとして描いていく。ある場所の数値が局所的に高いところは、そこが物理的に高いわけだから、そこだけを小さな砥石で磨り落としていくのである。

——ただ、金子さんだって最初からうまくやれたわけじゃないんでしょう。

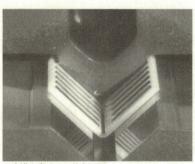
金子　ええ、全然できませんでね。たとえば、この指に砥石をどういうふうに持って、研磨する面にどういう感触で触れればよいのか。こちらの人差し指にどういう力を加えたらばなるか。三本の指でつまんだ砥石を、どれくらいの強さで、どのぐらいに持っていったらば平らに削れるか。砥石の持ち方一つにしても、試行錯誤の連続でした。

——なるほど。

金子　コリメーターの表示を見ながら、ここのところはこういうふうに砥石を当てて、この方向にどれだけのウエートをかけてやればいいか。やってみては結果を見、結果を見てはやり方を変えていく。この繰り返しのなかから、ケース・バイ・ケースに応じたやり方を身につけていきました。その感触を指が覚えていったんです。

三本指をどのように砥石に当て、どの状態のときにはどの程度の力を加えるか。ほとんど口では言い表すことができないと言うのである。全身の神経を三本の指に集中させて磨いていくのである。しかし、あるレベルまでいくと、磨いても磨いても平面度が出なくなった。金子さんは数え切れないほどの壁に突き当たったが、そのたびに、夜、寝床に就いても目が冴えて眠れない。

平面の検視装置

V字溝を砥石で磨く（写真では布だが、実際は下の写真のような砥石を使う）

V字溝を磨くのに使う砥石

V字溝のベアリング

金子　夜に床に就いても全然眠れないんです。機械がある程度仕上げてきているものですから、それを今度は私の手作業で、〇・二度とか〇・五度の平面度に仕上げていかなければいけないんですが、いくらやってもその数字が出ない。そうなると、作業としては疲れないんですけれども、精神的に参ってくるんですね。

――家に帰っても頭か

ら離れない？

金子　もう全然離れません。私は寝るときが、いちばん頭が冴えるんですね。だれにも干渉されないで、ものを考えることができるからなんです。ですから、昼間できなかったことが気になって頭が冴える一方なんです。あれほどやったのに、なぜ出ないのかなということを、ぶつぶつ呟きながら真っ暗闇の中で横になっていますと、やっぱりあそこに原因があったとしか思えないと、芋づる式に思い浮かんでくる。それを枕元の紙にどんどん書いていく。思いついたらすぐに手探りでも書けるように大きな紙とマジックをいつも用意しておきました。あのときの環境がこうだったから、測定値がああ出たのだ。だからあのときは右に力を入れるべきだったのだとか、自分にしか通じないような簡単な覚え書を書いておくのです。そうしたメモが、多いときには、一晩に一〇枚も二〇枚も溜まるんです。

定温・定湿中での精度向上

毎朝五時に起き、顔を洗うとすぐに、メモの整理をする。そのなかから会社で試してみるに値する思いつきを選び出すのである。寝床の中で閃(ひらめ)いた考えを会社へ行って試行錯誤してみると、なかには、なるほどと思う結果が出てくることもあった。こんなことを連日繰り返しながら、問題意識が次第次第に核心に近づいていったのである。

金子　今まで自分で一生懸命に砥石を手で持ってやってたんですけれども、ひょっとしたら指の熱が影響しているのではないだろうかと気がついたんですね。ところが、これが大当たり

だったんです。指の熱で砥石が変化していたんです。そんなこと、最初は想像もしていませんから、砥石をしっかり握って一生懸命磨くんですから、やるたびに測定結果が違うんです。

――指の体温がそんなに影響するんですか。

金子　それはすごいもんなのです。普通の日常生活の分野では体温なんか何の影響もないんですが、一ミクロン以下の〇・二ミクロン、〇・三ミクロンというサブミクロンを議論しなければいけない世界では、体温が接近しただけで研磨精度が大きく違うんですね。

――へえ、本当ですか。

金子　たとえばね、研磨している所に人が近寄って来たとしますね。すると研磨している付近の温度が上がります。しかも熱心な人たちであればあるほど、どんどん品物に近づきますから、温度がどんどん上がってしまう。すると、砥石も磨かれる機械も両方が膨張しますから、膨張したもの同士を磨り合わせて研磨していることになるんです。そんな状態で研磨したあと測定してOKを出したとしても、人が去って温度が下がったところで測定し直してみると、まるで結果が違うんです。ですから、ああやっとできたと一息ついて休息したあと、念のためにと測定し直してみると絶望的な数値に変わっている。もう狐につままれたように何が何だかわからない。

――さっきは精度が出ていたのに、休息して帰ってきてみると大違い?

金子　そう。精度がデタラメになっている。おかしいな、こんな馬鹿なことはありえないんじゃないかと、頭を抱えてしまう。何がいけなかったのだろうかと疑問をいだきながら家に帰

り、食事をして床に就く。しかし、不可解な現象が気になって寝つかれない。頭は冴えわたり、あらゆる原因が次から次と思い当たる。ことによると温度や環境も問題じゃないかと、ふっと気がついたのも寝床の中でした。

——なんで、環境に思い当たったんですか。

金子　眠れないものですから、その一日のことを朝から順次思い返していたんですね。今日はなんと次々と人がやってきたことだろう。たまたま、その日はいろんな人が見にきたわけですよ。「まだ精度が出ないのか」とか、「平らな面をつくるなんてわけないだろうに」とか「そんな簡単なことがまだできないのか」だの言って、人が入れ代わり立ち代わりやってきた。癪にもさわったし、今に見ていろとも思ってなお一層眼が冴えたんですが、そのとき、待てよ、今日の特徴は大勢の人間がやって来たことだが、それは影響なかったのだろうかと閃いたんです。人が大勢来た。彼らの体温で温度が上がっちゃったのではないか。これまでは環境のことなんか全然気にもしなかったが、これは室温にも問題があるんじゃないかというふうに、考えがどんどん広がっていったんです。

次の日、精度が出たことを確認して、人間を機械から遠ざけて、その後三時間してから測定し直してみた。やっぱり違っていた。これは、やっぱり温度だ。作業者の体温で砥石や機械が変化したに違いない。やっぱり寝床の中で閃いた通り温度が大きく影響しているに違いない。金子さんはこう確信した。

この発見がきっかけとなって、クリーンルームが建設され、その中で研磨作業が行われるようになった。金子さんが「クリーンルームをつくってもらえない限りご要望の精度は絶対に実現できません」

つくられた。昭和五三年頃のことである。

温度の影響を避けることで精度は格段に向上したが、あるレベルに達したあとは、再び精度が上がらなくなった。温度、環境には問題がないのに精度が一つも向上しない。またもや壁に突き当たったのである。

——また眠れない？

金子　そうです。やがてベアリングに思い当たった。V字溝の平面度を上げることにあらゆる努力を傾注してきたんですが、実はV字溝のステージの間にはニードルという精密なベアリング機構を置いて、スムーズに動かしているんです。つまり細くて精密なコロを転がして、V字溝の上の重いステージを軽く自由に動かしているんですね。ところがそのニードルは外のメーカーさんから買っていたのです。われわれはニードルの断面が全部一定で完全な円だとばっかり信じていたのですが、ひょっとすると、そうでないのかもしれないと思いついたのです。

——さっそく、枕元の紙にメモしたんですか。

金子　いや、あのときは夜中に起きて家を飛び出して、会社に駆けつけたんです。それで片っぱしからニードルを調べてみた。すると、驚いたことに、ニードルの断面がまったくデタラメでした。肝心の直径も不揃いで、太過ぎるもの、細過ぎるもの、断面も真円ではなく楕円がほとんど、しかも長いニードルが、真っ直ぐではなく途中で曲がっているんですね。

——そんなのを売っているんですか。

金子　ああ、私が言っているのはミクロンレベルの話で、通常の使用にはまったく差し支えない精度なんですが、私たちの扱う世界ではデタラメということですね。ですから、これもステッパー専用に設計製造しなくてはならなくなったわけです。

人間の資質に依存する先端技術

精度の水準が上がってくると、今度は測定器が問題になってきた。それまでの平面検査装置では、計測できないほど精度が上がってきたのである。測定結果に基づいて研磨をしていくわけだから、測定器の能力が悪ければ、研磨もそこどまりであった。そういう意味では、測定能力こそが研磨の限界というわけである。そこで、別働隊が超高性能な測定器の開発に着手し、成功した。

超高性能測定装置が完成して平面精度が一段と上がり、ほとんど絶対平面に近い数字が出るようになった。ところが最後にたどりついたのが、たとえ数字のうえでは平面を出しても、装置が平面として機能しないという悩みであった。ステージには重みがあり、それを支える台が短いから、XYステージが台の外にはみ出した。すると、はみ出た部分は下に支えがないから、重みで垂れ下がる。オーバーハングになるというわけである。V字溝やステージやニードルの精度をいくら上げても、オーバーハングした部分が偏荷重で微妙に曲がってしまうのである。最後に遭遇した問題が、偏荷重をどういう形で吸収してXYステージの水平を保つかということであった。

——これも「寝床でヒント」でしたか。

金子　はい、そうです。偏荷重の解決はそれまでやってきた努力とは逆のことをしなければいけ

ませんでした。面を均一に平面化する努力をしてきたものを、今度は偏荷重によるたわみも計算して、その分だけ面に微妙に傾斜をつけたんです。

――へえ、絶対平面を目指していたものを、今度はわざと変化をつけたんですね。

金子　そうです。それでいわゆる一〇〇キロの距離のなかで五センチという精度が可能になったんです。結局、いろいろと壁にぶつかりながら苦労したんですが、これが最後の終着駅だったような気がしますね。

――さて、ステッパーの第一号機ができ上がったときはどんなふうな気持ちでしたか。

金子　一〇年、二〇年育ててきたわが娘が嫁に行くときのような感じでしたねえ。これだけ苦労してつくり上げても、完成すればお客様のところへ行ってしまうのかなと。

――なるほど。嫁にやる気持ちですか。

金子　そうです、工業製品をつくったという感触はまったくなかったですね。本当に娘を育て上げたと言いますか、そういう気持ちのほうがはるかに強いんじゃないでしょうか。赤ん坊のときから大きく一人立ちできるようになるまで育てて、それを他人の家に嫁がせるといった感じが正確だと思います。人には言えませんでしたが、くれてやるのが惜しい。しかし、お客様のところへごあいさつに伺いまして、限りなく酷使されているのを見ますと、私は「ああ俺の娘も健気(けなげ)に働いているなあ」と、親としては満足するんです。やっぱり、やったことは間違いなかったとね。

半導体素子の発達が機械の自動化を促進し、それが産業界の姿を大きく変えたことはまぎれもない事実である。しかし、金子さんの苦闘に見るように、先端技術の根の部分は人間の五感と努力に大き

く依存しているのである。ステッパーのＸＹステージほどではなくても、世界に通用する日本の装置メーカーのほとんどが、人間の手作業を非常に重く見るのである。

ディスコ社のダイシングマシンも、水平を出すための作業は人間がヤスリで磨き出している。ディスコ社の職人さんは、その作業を「きさげ」と呼んでいた。またリードフレームでは世界一と言われている三井ハイテックでも、水平と垂直を出すことが精密加工技術の基本だとして、社員全員がその訓練を積むのである。世界市場で高く評価される製品を送り出す企業は、機械に知能を与える一方、ある局面では人間の力を徹底的に信頼する点で共通しているように思えた。

ステッパー開発の中心的存在として大きな貢献をされた現在ニコン専務取締役、吉田庄一郎さんは、「ニコン」のステッパーが成功した要因を、次のように総括している。

吉田　ステッパーの商品化に最初に成功したのは、アメリカのＧＣＡという会社でした。ＧＣＡというのは、昔から半導体関係の製造装置をつくっておりまして、私どもも特殊なレンズをお納めしていた時代もございます。ＧＣＡが日本の市場を押さえていた時代がかなり長かったんじゃないかと思います。ですから、ステッパーでは後発の私たちが市場に参入するのは、やはり相当の壁がございました。当時の日本側にはアメリカ信奉みたいなものが根強かったですからね。

――アメリカの装置産業が低迷するようになって久しいと言われていますが、この日米の差をつくったものは一体何だとお考えですか。

吉田　私も当事者なものですから、渦中にあって自分でもよくわからないというところがあるんです。ただ一つだけ言えることは、私たちはユーザーからのご要望に対してはできるだけ

速やかに、忠実に、徹底して装置を改善していったことです。

――お客様の声は神の声？

吉田　そうです。それからもう一つは、日本人の器用さと言うんでしょうかね。レンズ研磨にしても、あるいはXYのステージを工作する技術にしても、非常に忍耐の要る息の長い仕事なんですね。ですから究極の先端技術の行き着く先は結局、人間の資質ということになるんですが、そういうものに取り組むときに絶対必要な粘り強さとか特異な才能、それらをもっている人材を私たちは非常に大切にしたということ。これも現在のアメリカと大きく異なるような気がしますね。

半導体工場の空気と水

ゴミ退治専門の新入女性社員

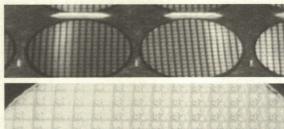
現代の半導体工場は、五〇〇に近い高度な関連技術から成り立っている。本巻では、ほんの一部に過ぎないが、そうした産業がどのようにして築きあげられてきたかを見てきた。これから取り上げるのは、空気と水の話である。

次ページの写真Aは、超ＬＳＩがつくり込まれたウエハーである。写真Bが、一個を光学顕微鏡で拡大した表面。さらにこれを電子顕微鏡で拡大していくと、写真Cのように、電気回路の配線が現れる。その線幅が、〇・五ミクロン。二本の線にまたがって横たわるのが、微細なゴミ。これが微細な回路を破壊する。それればかりではない。こうしたゴミには常に、ナトリウムイオンが付着している。

現代のＬＳＩのほとんどが、ＭＯＳトランジスタを集積したものであり、それがいかにナトリウムイオンを嫌うかについては、下巻第5章「ナトリウム・パニックの謎」で詳細に述べた。当初は、製造ラインが原因不明の歩留まり急落に襲われたり、あるいは出荷後に原因不明の劣化を起こしたりして、ＭＯＳ製品の将来性が危ぶまれたほどである。その原因が、ナトリウムをはじめとするアルカリイオンにあることを突きとめ、さまざまな防止策を打ち立てたのは、フェアチャイルド社の技術者たちであった。その経緯は下巻第5章の終わりで、詳しく触れた通りである。

さて、ここからが日本の出番である。これは何事にも共通する日本的な行動パターンのように思えるのだが、いったん問題の方向が決まり、目標が明確になると、日本人は手を緩めることなく、あくなき追求を始めるのである、けっして、物事をほどほどにとどめるということはしない。たとえば、生産歩留まりについても一〇〇パーセントという数字がある以上、万難を排して一〇〇パーセントを

目指す。ゴミやナトリウムが悪いのなら、それを工場から完全に締め出してしまおうと考えたのである。

昭和五八年、九州日本電気では一人の女子大卒業生が品質管理課のゴミ退治専門の担当者として採用された。当時、江口恵子さん(現在新開恵子さん)、二三歳。ゴミの測定からゴミ退治の方法を考案することまで、ゴミに関するすべての権限が彼女に委ねられた。彼女の活躍で九州日本電気の生産歩

A 超LSIがつくり込まれたウエハー

B チップ1個の表面(光学顕微鏡による拡大写真)

C 電気回路の配線(電子顕微鏡による拡大写真)

D 配線と配線にまたがったゴミ

新開さんのレポートの一部

新開恵子さんと子どもたち

留まりが目をみはるほど向上していった。およそ五年間ゴミと格闘したあと、彼女は育児のために退社した。現在、二児の母である。

熊本市の郊外に住んでいる新開恵子さんを訪ねた。周囲にはまだ田んぼが見える新興住宅地の瀟洒な建売り住宅で、家事に追われていた。二人のお子さんは昼寝の最中であった。奥から大事そうに抱えてきたレポートには、ウエハーの汚染と歩留まりの相関を分析した無数のデータが記載されていた。ウエハーに付着したゴミを黒い点としてコンピューターが描き出したウエハー上の汚染分布図は、肉眼で観察しただけでは見えないゴミの存在をはっきりと浮き彫りにしていた。さまざまに条件を変えてわざとゴミをつけたいろいろなウエハー。たとえばウエハーの真上で数回だけ手をたたいたゴミ分布図は、白い円の中にはびっしりと小さな黒い点々が広がっていた。

新開　すごいでしょう。これ、ウエハーの工程を通したあとも取れずに残ってしまうんです。

――わあー、そんなに真っ黒くなる。

新開　はい。これで拍手一〇回なんです。同じように見えるんですけど、これは唾液ですね。ウエハーを立てておいて、その前でしゃべったんです。肉眼ではほとんどわからな

手のゴミの分布図

ウエハーの上で手をたたく実験

実験当時の新開さん

ウエハーの上でしゃべる実験

いですけど。機械が大きさ○・五ミクロンぐらいから識別してカウントしますので、これは唾液のついている所にできたICは、確実に不良になっているというマップです。

——こんなことを、毎日毎日おやりになっていたんですか?

新開　そうです。毎日ほとんどそればっかりです。最初のうちはただやみくもに調べて、ゴミがあるというだけで大騒ぎしていたんですが、だんだん経験を積んでくると、調べ方も調べる対象も的確になっていきました。ゴミを一つ一つ突きとめて対策を講ずると、生産歩留まりが目に見えて上がりました。

——それはうれしかったでしょうねえ。

新開　私たちの助言で歩留まりが改善されたときなんか、非常にうれしかった。毎日が刺激的で、一日一日の過ぎていくのが早くて、ものすごく充実した日々でした。

新開さんは、昭和六〇年に結婚した。やがて長男が生まれ、続いて長女が生まれた。長女が生まれるまでは家庭と職場が両立できたが、二番目の子どもが生まれてからは、次第に両立しにくくなった。職場にはまだ、取り組みたい課題が山ほどあった。

——家事は得意ですか。

新開　ミクロなゴミは得意ですけど、マクロなゴミは苦手です。

——アハハハ。ところで、あの悪いけど、その資料ちょっとコピーさせてもらえませんか。

新開　これはおそらく秘密になるんだと思います。必要な製造部門とか技術部門とかいろいろな部署に回覧してもらって、対策できるところはその該当する部門で対策していただきました。ですから……。

――すると非常に大事な企業秘密なんですね、それ?
新開　そうですね。
――ゴミのノウハウがわかりやすくて、テレビで撮りたいんですが、駄目ですか。
新開　ええ、義理がありますから……。

世界に先駆けた臨海半導体工場

上巻の冒頭では、半導体製造工場の全貌を三菱電機西条工場に例をとって紹介した。そこで私たちが驚愕したのが、工場中心部のスーパークリーンルームもさることながら、それを支える数々の付帯施設であった。

巨大なフィルター群を中心とした空調施設。タンクとパイプが網の目のように入り組んだ超純水製造装置。それに排気と排水に関係する巨大設備。いずれもちょっとした工場ほどはあった。また、無人搬送ロボットがウエハーなどの関連資材と完成品を外気に触れさせないようにして、運搬する姿はSF映画を見るような錯覚を覚えたものである。

海岸の空気は、潮風に影響されてナトリウムを多く含んでいる。したがって、海岸に半導体工場を建設することは、常識を外れたことと長く考えられていた。この常識をくつがえしたのが、この三菱電機西条工場であった。

もちろん、その建設は三菱電機のあらゆる専門家を動員して完成にこぎつけた知恵の結晶である。この工場については自動無人化など多岐にわたる分野が関係しているので、建設についてだけでも一

ポットを当ててみたい。

冊の本が書けるほどであるが、本巻ではこの建設を「ゴミやナトリウムとの格闘」という側面からス

『産業立地』という雑誌の昭和六二年一二月号に「世界に先駆けた三菱電機㈱の臨海半導体工場（西条工場）」という論文が載っている。その執筆者には、六人の名前が連なっている。福本隼明（LSI研究所、環境制御グループ主幹、工学博士）、満田光（西条工場、製造管理部製造管理課主事）、井石幸男（伊丹製作所、生産技術部主幹）、天野正勝（西条工場、ウエハー製造部長）、板根英生（本社半導体事業推進部、構造計画部長）、柴山恭一（LSI研究所長、理学博士）などの六氏である。

論文は最初に、「SiやGaAsを基板材として加工される半導体製品は元来〝塩〟に弱い。なかでも集積回路素子はSiの表面深さ二ミクロンから五ミクロンの領域にトランジスタやキャパシタや抵抗を超微細加工し製造しているためにSi表面や形成した超薄膜の界面に存在するナトリウムイオンを一平方センチメートル当たり10^{10}個から10^{8}個以下の濃度に制御する必要がある」と述べたあとに、西条の立地条件について次のように書いている。

「本埋立て地は愛媛県西条市が工業団地として昭和五五年に造成したもので、当社は五六年六月に購入した。敷地面積が約一〇万平方メートル。（中略）造成地の土壌はよく晴れた日には表面が白い塩の結晶で覆われており、雨の日の溜まり水をなめると塩辛かった。（中略）海風が穏やかな時は海塩粒子や海塩ミストの飛散も少ないが、海風が秒速一〇メートルを越えると大気中の塩分濃度が桁違いに増加する」

こうした海岸地帯に、ナトリウムを最も嫌う一メガのDRAMを月産三〇〇万個も製造する工場を建設することになったのである。論文の全文は紹介できないので、見出しだけを列挙してみると、次

のようになる。

「建設工事に関する実施事項」については八項目について触れている。①敷地内表面土壌の改善、②建設従業員に対する防塩・除塩・防塵・除塵の教育。③建設資材置き場の防塩対策。④資材搬入の除塩と防塩対策。⑤建設資材の徹底的な除塩対策。⑥建設中の出入り制限。⑦除塩清掃。⑧外壁施工後の仮設除塩空調の設置などである。

建設予定地の土をすべてきれいな土に入れ替えた上に、鉄筋をすべて超純水で徹底洗浄して組み立てたというのである。しかも、そうした工事に従事する建設業者全員に対して、徹底的にナトリウム対策の教育を施した。外壁ができ上がると仮設の除塩空調を設置し、除塩された空間への出入りを厳しく制限したのである。

「防塩・除塩・防塵・除塵空調の建設」については、①海塩粒子と海塩ミストの徹底除去、②防塩除塩空調の評価と設置などに触れているが、そのなかでも特に徹底を期したのが「エアーフィルターの耐溌水性の改善」。つまり水をはじく性質を強化したフィルターを開発する必要があった。また時々刻々変化する環境中の塩分濃度を監視するために「空気中の海塩濃度監視システム」を開発し、空気中のナトリウム濃度に異常が発生したときに迅速に対応できるようにしたのである。

■休日返上の〝ゴミ博士〟

この論文の筆頭に名前が出ている福本隼明さんは、きわめて個性の強いテレビ向きの人物である。インタビューを記録するためにスタッフとお邪魔したとき、福本さんはいきなり、「ゴミ博士の略歴」

と題する小冊子を全員に配付した。そこには、生い立ちから奥さんとの恋愛結婚の経緯まで、記載されていた。

昭和二〇年九月一二日、大阪府岸和田に生まれた。父は教員で、七人兄弟の六番目。兄弟多く、掃除、洗濯、家事万端を自分で始末する癖がついた。幼年期からの整理整頓、綺麗好き。昭和四〇年、大阪大学工学部応用物理学科に入学。四四年には大学院に進み、レーザー光を使った超微粒子の解析について研究。昭和四六年、結婚する可能性の高かった女性の実家が倒産して彼女が行方不明となり、悲しみの余り一週間泣き暮らした。昭和四八年、現在の妻と学生結婚。ところが大学院の奨学金が打ち切られたうえに、長男が生まれ、生活苦最低。しかし、貧困を乗り越え、刻苦勉励、昭和五〇年に工学博士をついに取得。三菱電機に入社。ざっとこんな具合である。

福本　昭和五一年でしたか、国家プロジェクトの超LSI技術研究組合が発足しましてね。三菱電機も、そのプロジェクトに参加しました。私たちは超LSI技研の第三研究部に属しましてLSIプロセスの研究を担当したんですが、その研究を遂行するために、三菱電機もクリーンルームを建設しました。その管理を私がおおせつかったのですが、それが〝ゴミ博士〟としての初仕事でした。

――ゴミをやれと言われて、いやじゃなかったですか。

福本　いいえ。それよりも、入社して強い印象を受けましたのがゴミのことでした。もう、会議のほとんどがゴミの話なんですね。ゴミのせいで欠陥ができた。ゴミのせいで回

福本隼明氏

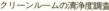
路がダメになった。デバイスつくる人たちが、本当にゴミと喧嘩していた。ところが、その割りにはゴミのことを体系的にきっちりとしたデータで押さえているわけじゃない。データを検討しながら、前回はこうやったから今回はこう改良して、その結果で次回はこうしようなどとは考えていなかった。それが本当に不思議でした。

――なるほど。それじゃあ、ゴミをやれと言われて張り切った?

福本　はい。ですから、最初は何でも疑ってかかりました。疑いの目で見ると「クリーンルームは綺麗な部屋や」と言いながら、ゴミだらけの普通紙を持ち込んでいたり、「無塵服着てるさかいに大丈夫や」と言いながら、肝心の無塵服がドロドロだったり、そりゃ矛盾だらけなんですわ。そやから、こりゃ徹底的にデータを取り直してみようと思って、まず基礎データから取り直すことにしたのです。

福本さんは、休日ごとに出社してはクリーンルームの清浄度を調査した。ウイークデーは人が仕事をしているから、定量的な精密な調査ができない。だから調査は、人のいない週末を選んで行う必要があった。だれもいないクリーンルームの中を、福本さんと彼のグループはダストカウンターを手にゴミと格闘したのである。

調査を続けているうちに、同じクリーンルームの中でも汚い所と綺麗な所が混在していることがわかってきた。たとえば、各作業台の周辺を立体的に計測してみると、ある天井付近にはゴミが密集して漂っていた。かと思えば、別の天井付近ではゴミの浮遊が皆無だった。ゴミの浮遊状況は、けっして一様ではなかったのである。精密に測定を繰り返すと、天井にフィルターが詰められている場所はゴミが少なく、蛍光灯の周辺はゴミが高密度で浮遊していた。こうした丹念な測定から、クリーンル

クリーンルームの清浄度調査

歩いたり寝ころがるとゴミがどうなるかの研究

ームが抱える構造上の欠点や、日常的に使用する機器の問題まで洗いあげることができたのである。

また、クリーンルームの中で無数の蚊取り線香をたいて、気流の流れ方を記録した。ゴミが空中に滞留するのを防ぐには、どのような空気の流れが望ましいかを調べたのである。実験用のクリーンルームならいざ知らず、現実に稼働中のクリーンルームの中で煙を出すなど絶対に許されることではなかったが、彼は敢えてそれをやってみた。知られれば懲罰ものであったという。

やがて、クリーンルームの静的なゴミの分布から人間の行動とゴミの発生という動的な問題に関心が移っていった。ダストカウンターをセットしておいて、その周辺を歩いたり、走ったり、飛び上がったり、寝ころがったりして、そのもたらす結果を丹念に記録していった。

——しかし、ゴミが多いことと、「歩留ま

りが悪い」ことと、具体的な相関関係が証明できたんですか。

福本　いや、もうその件に関しては上司のほうから、そういうデータを早く見せろ見せろとよく言われました。ところがですね、ゴミというのは雑多な要素がからんでまして、簡単にはいきません。一つの超LSIができてくるだけでも二〇〇から三〇〇の工程がありまして、その各工程でいろんな種類のゴミを管理しなければいけない。ですから、そのなかの一つのゴミが全体の歩留まりにどれほど関係があるなどという証明は、その当時はようしませんでした。とにかく因果関係がありそうな原因を一つ一つ潰していきながら、結果として、歩留まりが上がったのを確認するということを繰り返してきたのです。

こうした試行錯誤を重ねていた昭和五七年、三菱電機は、先述のような理由で、愛媛県の西条市に半導体工場を建設することになった。企業の命運を賭けたプロジェクトには全社挙げていろいろな分野のプロが動員されたのは当然である。特に、ナトリウムを最も嫌う半導体工場を海岸から数百メートルの埋め立て地に建設するなど前代未聞の話であった。当然のことながら、福本さんが取り組むべき対象もナトリウムをいかに防ぐかに絞られた。

空中の塩分濃度などの特異な環境についての基礎的なデータが採取された。気象条件によって工場予定地の空気がどれほどナトリウムの微粒子を含むか。特に海風の強いときとか台風が接近したり上陸したときなど、悪条件下の塩分濃度は精密に記録され分析されたことは、当然である。これらの空気が空気採取口から大量に工場に採取されるからである。

潮風で塩分をたっぷり含んだ空気を工場内に取り入れるとき、いかにしてナトリウムを完全にシャットアウトすればいいのか。せっかく、フィルターで堰(せき)止められたナトリウムが、湿度の高いときに

は空気中の水分に溶け出してフィルターの裏側に滲み出てくるのである。だから、空気は通しても水を絶対に通さない海岸向きの除塩フィルターを開発する必要があった。

まず、市販のヘパ・フィルター（極超微粒子も通さない半導体工場専用フィルター）の弱点を究明することから始まった。瀬戸内海から毎日二トンの海水をトラックで運び、それを霧状にして、市販されているすべてのヘパ・フィルターに吹きつけた。やってみると、JIS規格に合格したフィルターがどんどん塩水を通してしまうのである。

当時のフィルターの検査方法というのは、乾いたゴミを上流側に何万個と入れて、それの九九・九七パーセント除去できれば、それをヘパ・フィルターと定義していた。しかし、海岸に建設される半導体工場には不充分であった。フィルターユニットの表面から海水を雨のように注いでも、裏にはけっして漏れない構造にしたかった。

塩水を通すフィルターを拡大鏡で調べてみると、数社のフィルターにはいくつものピンホールが空いていた。フィルターは、一二ミクロンぐらいの細いガラス繊維を重ねて吸取り紙のようにしたものを折り畳んであるのだが、肝心の表面に小さな穴が開いていたのである。しかも、フィルターをフレームに接着剤でつけているのだが、接着不良で、ここにもピンホールができていた。それらのピンホールをなくして漏れのないフィルターに改良すると、塩水はピタリと止まったのである。

フィルター会社に欠陥を指摘し、改善を要請した。しかし、それに応じたのは四社中たった一社であった。ほかは、JISが決めた規格を充足している以上責任もなく、改善の必要性も認めないと拒否したのである。

福本　ほとんどがただ見にきただけで、「ウチは知らん」と言って相手にしてくれなかったです。

家族ぐるみで、衣服を着せたマネキンを海岸に立たせて実験

風呂水を試料として、体に残留した塩分を計測する

まともに付き合ってくれたのは、一社だけでした。四社やったなかで、一社だけが真面目に対応策をとってくれまして、そこと半導体工場専用の除塩フィルターを共同開発して連盟特許を申請したんです。それが、今、世界中に売れているんだそうですわ。塩をとるフィルターということで買いにこられるそうです、外国から。

——知らんと言ったメーカーは、損をしましたね。

福本　そうですよ。こういうコンタミネーション「ゴミ」のような極微量の世界は、そんな話が多いですね。目に見えるときは、「あんたのところ駄目よ」と言われたら必死になるんです。ところが目に見えない領域、心のコントロールに相当するようなところでは「そんなこと知るかい」と言うような人と、「そりゃ大変だ」と真面目にやる人とに分かれますね。真面目にやろうと言う人が、やっぱりハイテクの世界を制するんやと思いますね。今のままでいいやと言う人、はハイテクには向きまへんな。

ナトリウム監視装置もつくる必要に迫られた。一立方メートルの空気の中に何マイクログラムの塩が含まれているか、リアルタイムで連続測定する装置を開発したのである。工場の外気、外気を濾過処理した最終段階、クリーンルームの中と三か所の空気を常時モニターする必要があった。空気をいったん水に溶かし、そのナトリウム濃度を連続的に計測し記録する装置であった。

——外気中のナトリウム含有量も刻一刻と変わるんですか。

福本　そうですね、朝なぎ夕なぎ、やや穏やかな風のときなどはほとんど変わりません。ところが、季節風とか台風、あるいは春一番とか、海風が風速一〇メートルを記録しますと大概、空気中の塩分濃度がだいたい二桁から、多いときは四桁増えます。現に福岡工場で二年か

三年前に、台風一〇号かなんか北上したとき、最大瞬間風速五六メートルを記録してまして、そのときの外気の塩分濃度は通常時の約一万倍に増えましたから。

――ひぇー、一万倍ですか。

福本　そう。そんなときでも、クリーンルームの中のナトリウム値が、普段よりちょっとでも上がるようでは半導体工場としては失格なんですね。事実台風一〇号のときだって、クリーンルームの中の値はびくともしませんでしたから。だから、私たちはオーバースペックやったかもしれませんが、それくらいの安全を見越しておくほうが、結局は安くつくんですね。

■家族ぐるみの防塩・除塩データ採取

工場の施設面から膨大な防塩・除塩システムを工夫したのは、当然である。しかし、それだけでは不充分であった。工場の中に環境のナトリウムが侵入する可能性があるのは、空気採取口からばかりではない。人間の衣服に付着して工場の中に入ってくるに違いない。その定量的なデータを取る必要があった。

福本　スーパーからTシャツを五枚買ってきまして、全部純水で洗ってクリーンルームの隅で干して、一枚は会社に置いておいて、他の四枚は純水で洗ったビニール袋に入れて家に持って帰りました。そして四枚を重ね着して、自分で車を運転して海の側に行きまして、海から飛んでくる塩と自分が汗かいて出る塩とどちらがどれだけ多いかを分析しました。四枚

のシャツの上から順番に一枚一枚がどれほどナトリウムに汚染されるか、外の空気からくるやつと体の皮膚からくるやつと、どっちが多いかというデータを取りました。

研究報告書には、こうある。――港の岸壁から三メートルの所に立ち、天気は曇、北西の風七ないし一五メートル。いちばん上のTシャツに六ミリグラム、二枚目約四ミリグラム、三枚目三・一ミリグラム、四枚目が三・八ミリグラム。いちばん上の一枚目は、いちばん下の四枚目の約一・六倍もナトリウムを多く含んでいると判明。

今度は、長時間海岸の空気にさらしたときのデータを取ることになった。人間が三日間も立ち続けることは不可能であった。そこで、マネキンを使うことにした。超純水で洗った衣服をマネキンに着せて、海岸に三日間立たせることにした。福本さんがマネキンの胴体を担ぎ、奥さんが衣服を持ち、息子さんがマネキンの脚を海岸に運んだ。海岸の空気から人間の衣服がどれほどのナトリウムを取り込むものかを、家族ぐるみで調べたのである。

――そのデータは何の役に立ったんですか、結果的には。

福本　工場作業者の着衣を決めるのに役立ちました。作業者がクリーンルームに入っていくまでに、いろんな段階がありましてね。まず自分の背広とか外套(がいとう)とかをロッカーに入れて、下着を脱いでゴミのない服と着替えるんですが、そういうときに個人の下着を何枚まで着替えてもらったらいいのかとか。あるいは、体から出た塩を外に出さないようにするには、肌着の上に何枚重ね着したらいいのかを、科学的な根拠に基づいて決定しなければいけませんでした。

――なるほど。

福本　結局、二枚重ね着することがいちばんいいとわかりまして、西条工場から始まったんですが、現在はどこでもだいたい二枚重ね着にしてます。中から出る「塩まざりのゴミ」を出さないという意味の服と、もう一つはほんとのLSIに対して「塵やほこりという意味のゴミ」を出さないという意味の服。だからわれわれは下の服のことを塩を取る「除塩服」と言い、上の服をゴミを出さない服「無塵服」と言っていますが、この着衣のやり方も私たちの調査結果から割り出したのです。

環境のナトリウムが衣服に付着して工場内部に侵入する以外に、人間自身が環境に出すナトリウムも問題である、と福本さんは考えた。作業員の体からどれほどのナトリウムが汗や唾などの形で出てくるか。今度は、それを調べる必要があった。

福本　人間の体液には、大量のナトリウムとかカリウムが入ってますね。尿とか汗とか唾液ですね。そうなると、海から飛んでくる塩と、人間から出る塩とどっちが多いのかと。そういうことをやっぱり数字でつかまえておく必要がある。人の体からどれだけの塩が出るかということは、社員を裸にするわけにいきませんので、真冬の二日間かけて妻と二人で実験台になってやりました。昭和五七年の一二月でした。

——なるほど。

福本　二日間だけ下着を着替えないしお風呂にも入らない。そうした生活をして二日間着た下着がどれだけ汗を吸収したかを測定したんです。二日間着た下着類、すなわち靴下や長パッチ、パンツ、シャツ、まあこれには嫁さんのパンツも入るんですが、これを試料にして精密なナトリウムの含有量を分析しました。

――へえ、奥さんの下着もですか。

福本　はい。まあそういうことから社内では、私の嫁さんのパンツが話題になってしまったんですけども。しかし、こういうことはなかなか人に頼めませんので、妻と二人でやりました。

夫妻の着た下着とは別に、体内からは噴出したものの肌着に吸収されずに皮膚に残ったナトリウムを調べる必要があった。二日間にどれだけのナトリウムやカリウムが皮膚に溜まったか。これらも、環境に放出される可能性がある以上は、充分に捕捉しておく必要があった。綺麗な水で風呂を焚き、まず福本さんが入って体のナトリウムをお湯に溶かし、そのお湯をサンプルとしてビンに採取した。次にお湯をいったん流して、新しい水で沸かし直し、奥さんが入り、サンプルを採取した。

サンプルを会社に持っていき、分析器でナトリウムとカリウムの量を測定した。その結果、寒い気候だったにもかかわらず、一日に体から出た塩の量は一〇四ミリグラムであった。同じ調査を夏場にやってみると、二〇〇〇ミリから三〇〇〇ミリグラムになった。すなわち、二グラムから三グラムも出てくることがわかったのである。

福本さんは、奥さんと二人でやったとおっしゃっていたが、さらに聞いてみると、福本さんが動員したのは奥さんだけではなかった。一家総ぐるみだった。超純水で洗った下着を一家で、それぞれ四枚重ね着した。三日間入浴を我慢して、体から出るナトリウムが四枚の下着にどのように溜まるかを調べ、三日後、一家の下着と、入浴した浴槽の水が測定に回された。

こうした調査の結果から、西条工場では、入室前の入浴が義務づけられたのである。

福本　実は、会社も、組合の方々に協力してもらわなあかんかった。西条工場を運営するに当たって、入口で裸になってシャワーをかぶって身体を洗ってくれと言いたいんやけど、なぜ

それが必要かを数字できっちりとお話ししたい。ついては納得できるデータがないだろうか、と北伊丹の総務部長や所長がおっしゃったんですね。

——組合との団交資料がほしいと?

福本　団交材料と言うか、まあ理解してもらうために。今も当時も、三菱電機の組合はよくわかってくれますから、心配は要らなかったんです。組合の委員長はじめ組合の方々からも、「四〇〇億円もかけた工場が、塩でトラブッて倒れてしまうようなことになれば大変だから」と言って、できるだけ協力すると言うていただいたんです。西条の第一棟には、三〇〇億から四〇〇億を投資するわけですから、塩が工場に入ってきたらLSIが梅干になってメチャクチャなことになるでしょう。もう会社、潰れますものね。そうなったらあかんと、だれだって思うでしょう。

——しかし、奥さんのパンツにこだわるようですけど、それはこっそり会社に持っていったんですか、それとも「会社のためだからおまえのパンツをぜひ」と?

福本　「協力してくれ」とちゃんと頼みましたよ。嫁はんもわかってくれてましたが、ただこんな話をテレビで言うとか、新聞に出したんで嫁はんからえらく怒られましたけどね。

——今度もテレビにして怒られますね。

福本　もう開き直っているんじゃないですか。

福本さんは「電子立国日本の自叙伝」最終回に登場したのだが、放送直後に、ワシントンポスト紙の記者からＮＨＫへ電話がかかってきた。ゴミやナトリウムを工場から追放するために一家総動員で活躍した日本人技術者の一家に会いたいから住所を教えてほしい、と言うのである。妻と一緒に子ど

もまで巻き込んで会社の仕事を遂行する福本さんの行為が、アメリカ人記者には信じがたかったようである。

福本　日本人は、一ミクロン以下の加工に対しても非常にデリケートに仕事をする。ところがアメリカ、ヨーロッパの方は一ミクロンよりも下がったらもう仕事、真面目にやらへん。ところが、実はあれ真面目にやってないと違うんですよ。彼らにすれば見えないものをどうやってやろうと言うのか、見えないものは見えないんだから、やりようがないと考えているに過ぎないんですわ。

——でも妥当な考えですよね。

福本　ところが、目に見えない領域になると、途端に日本人は得意技を発揮するんですねえ。日本人というのは昔から、幽玄とか、「わび・さび」という言葉がありますように、曖昧模糊としている事柄に対して自分なりの解釈をして理解しようとする癖があります。

——はい。

福本　たとえば「山路来て　何やらゆかし　すみれ草」とか「古池や　蛙飛(とび)こむ　水の音」ですかね。蛙が何で池に飛び込んだのか、喜んで飛び込んだのか、運動したいと思って飛び込んだのか、逃げようと思って飛び込んだのか、それを口にする人の気持ちで解釈が違ってくる。体調が良いか悪いか、恋をしているか、失恋しているか、詠(よ)み手の状態で全部違うんですね。

——それがゴミとどうつながるんですか。

福本　ですから、ゴミというのは曖昧模糊なんですよ。曖昧模糊ななかから何とかヒントになる

ものはないだろうかと手がかりを求めて調査し、できるだけ定量化してゴミを減らそう減らそうとしてきたのが、われわれなんですね。

——なるほど。

福本　ところが、見えない領域になったらアメリカ人というのは、定量的に物を言いますから、「わからないことは、わからない。見えないものは、見えない」、と。たとえば、もう一〇年も前になってしまいましたけれども、あの超純水中のゴミの量を規格化しようとしたことがあるんです。ところが、アメリカ人たちは「大きさが一ミクロン以下の微粒子を測る場合には、測定器の性能にバラツキがあって測れない」と、はっきりおっしゃるんですね。

——測定できないものをどうするつもりか、と言うわけですね。

福本　そのときでもわれわれは一ミクロン以下のゴミを測ろうと一生懸命努力するんですね。たとえ測定器の性能に不満があっても、同じ人間が同じ測定器で同じように比較して見ていけば、こっちには五〇個、あっちには三〇個、そっちには一〇個という差が現実に起きてくる。同じ測定者が同じ測定器で取ったデータに五〇個から一〇個まで差が出たのなら、一〇個を目標にするのが当然じゃないか、と日本人は考えるんですね。

——なるほど、それも納得。

福本　ところがアメリカ人は、あのときもそうでしたが、「測れないものは測れるか」とか「おまえら測れないもの測って何のデータを議論したいのや」と言うんですね。

——なるほど。

福本　しかしわれわれは、たとえ満足な測定器がなかろうとも、使い方を工夫することでゴミの

量を減らし、生産歩留まりを少しでも上げようと努力してきたんです。だって、ゴルフ行って、あの穴に球を入れようという気持ちがなかったら絶対入りませんよ。どうでもいいやと思って打っているうちは、やっぱり二発三発打ってますよ。「なせば成る、なさねば成らぬ何事も」というあの言葉通りやろうと思うんですわ。そういう努力をしたからこそ日本は、アメリカやヨーロッパを抜いたんやないかと考えているんですがね。

半導体用洗浄水の追究

ゴミと並んで重要なのが、振動である。八メートル四方もある回路図形を縮小転写したフォトマスクの像を、ステッパーという露光装置で、数ミリ角のシリコン表面に結ばせるのである。しかもフォトマスクは一五枚から一六枚もあり、それらの図形位置が寸分のくるいもなく正確に重なる必要がある。そうでないと、トランジスタをつくり込むべき場所に別のものをつくってしまったりして、回路がめちゃくちゃになってしまうからである。したがって、写真工程の作業をしている最中に工場がわずかに振動しただけで、ラインは壊滅的な打撃を受ける。

だから、半導体製造工場は、空調設備など振動源になる施設はクリーンルームの設置されている本体から構造的に隔離されているのである。外見は一体に見える工場も、構造的には基礎から分離してあり、極端なことを言えば、一つの屋根の下に二つの工場がつくられているようなものだという。

ここまで到達するまでにも、各企業では振動問題について数々の体験を重ねて、おもしろいエピソードは枚挙にいとまがないが、残念ながら紙数の関係で割愛せざるをえない。

イオン交換樹脂

さて、最後に触れる問題が、水である。ウエハー表面に超LSIをつくり込むとき、ウエハーを水で洗うという洗浄作業が何回となく繰り返される。事前処理としてウエハーを洗浄することから始まって、リソグラフィ工程で何度となく繰り返される洗浄まで、ウエハーに最も濃密に、長時間にわたって接触するのが水である。したがって、洗浄水に問題が起きるとライン全体が甚大な被害を受けることになる。

半導体工場で使う洗浄水は、微粒子はもちろん、ナトリウムやさまざまな金属イオンを取り除いた超純水である。超純水というのは、電気を非常に伝えにくいようにしてある水のことをいう。「衛生的な意味で純粋」というのではなく、「電気的に不導体に近い」水という意味である。本来、H_2Oは電気をまったく通さない不導体である。にもかかわらず、それが電気を通すのは、水の中にさまざまな伝導物質がイオンの状態で溶け込んでいるからである。これを除去してやれば、水は限りなく不導体に近づいていく。

イオンを取り除く物質が、写真のようなイオン交換樹脂である。硝子容器の中には、薄茶色をした仁丹（じんたん）ほどの粒子が詰まっている。たとえば、銅イオンが溶けている青い色の水を容器の入口から入れてやると、銅イオンが樹脂に吸着されて、樹脂は青く変色し、水が透

小宮啓義氏

明に変化する。こうして出口から出てくる水は、銅イオンが樹脂で取り除かれた純水になる。

超純水は電気を通さないから、たとえば数万ボルトという高圧がかかっているテレビ受像機を超純水にどっぷり浸(ひた)しても、理論的にはショートもしなければ放電もしない。ただ受像機のほうにさまざまな不純物が付着しているので理屈通りにはいかないが、たとえば電池で点灯する小さな蛍光灯を使って実験してみると、よくわかる。

蛍光灯を点灯したまま水道水に浸すと、蛍光灯はたちまち消えてしまう。水に伝導物質が溶け込んでいて、それが電気回路をショートさせるからである。今度は、同じように超純水に浸してみると、蛍光灯は消えることなく超純水の中でも点灯したままである。さて、ここでビーカーの中に指を入れてみた。すると、一〇秒もしないうちに蛍光灯が消えるのである。指の表面についていた汗が水の中に溶け出して、超純水の中にはナトリウムイオンが存在するようになり、電気が通るようになるからである。

さて、実際の超純水プラントは、いくつものタンクとパイプが交差する巨大施設である。まず微粒子を取り除き、プラスイオンを取り除き、マイナスイオンを取り除き、伝導度が不導体に近くなるまで水の純度を上げていく。ここまでしても、安心できない。かつては、時として予想外の事態に見舞われることが多かったという。

三菱電機の超ＬＳＩ研究所の小宮啓義所長も、かつて北伊丹製作所製造管理部次長時代に熊本に半導体工場を建設する過程で、次のような体験をしたという。

小宮　あれは、熊本工場を建ち上げたときのことですが、突然ドカンとやられましてね。LSIが死屍累々の状態になりました。いくらやっても不良品ばかり。何かに汚染されているのはわかっているんだけども、さてその正体がわからない。いろんな分析手段で調べていくうちにウエハーの表面に鉄がついているということがわかりまして。

——鉄のイオンか何かですか。

小宮　鉄のコロイド状微粒子でした。しかし、なぜ鉄の微粒子が水の中に入ってきたのかがわからない、しかも突然に。

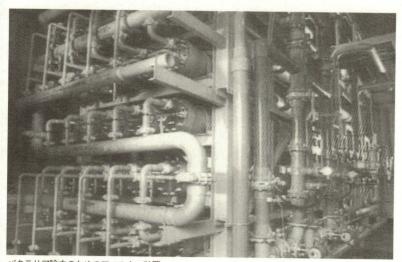
——なぜだったんですか。

小宮　これはずいぶん古い話で、時効になっていますから公開してもいいと思いますけども、阿蘇の火山灰に遠因があったんですね。その工場では火山の伏流水を工業用水として使っていたんですが、火山灰に含まれている酸化鉄が、小さなコロイド状になって水の中に入ってきたんですね。

——しかし、なぜ突然に？

小宮　伏流水の流れ方は、季節によって変わるんです。水は土の中を通ってくるわけですが、その周辺には火山灰が堆積している。ある時期に雨がいっぱい降ると、今まで動かなかった火山灰が増えた水に掻き混ぜられて伏流水に混ざってしまう。すると、地下水の鉄分濃度が高くなる。それが豪雨から何か月後かに、突然工場にやってきた。

——イオン交換樹脂で、やって取れないいんですか。

小宮　これはものすごく微細な粒子であるコロイド状の酸化鉄であって、イオンじゃないんです。

バクテリア除去のためのフィルター装置

ですから、電気的な性質をもたないから、イオン交換樹脂では除去できない。

――フィルターでも取れないんですか。

小宮　いや、フィルターでは取れます、ほとんどは。ところが、そのときは不幸にもフィルターに一か所だけ、ミクロンオーダーの小さな亀裂があった。そこから侵入しちゃって。われわれとしては、それまでそんな経験がありませんでしたから。鉄のコロイド状微粒子が地下水に混じっているなんて思ってもみなかったし、想定してなかったんです。

――どれくらいかかりましたか、犯人がわかるまで。

小宮　ひと月ぐらいかかりましたかね。ただ、不幸中の幸いだったことには、工場が完全稼働する前でしたので実

害が少なかったんです。水の中の微量物質というのは常に測定器の検出限界以下の超微量ですから、非常に難しいんです。ウエハーにトランジスタをつくってみないと、わからないことが多いんです。

現代の超純水プラントでは微粒子やイオンを取り除いたあと、水を別の装置に導いて、今度は殺菌灯でバクテリアを殺し、逆浸透膜の詰まった長大なフィルターでその死骸を漉すのである。逆浸透膜は、もともと半導体技術のためにつくられたものではなく、海水から真水を取るために開発された最先端技術の一つであったが、微生物の存在が半導体製造に大きな障害になってからは、半導体製造工場の超純水プラントに大量に使われるようになった。

不純物質が取り除かれている超純水の中は、微生物にとっては生息しやすい環境なのだという。殺菌のために塩素も除去されているから、一度超純水にバクテリアが混入すると、たちまち大繁殖をしてしまう。生物の体内には、必ずナトリウムが含まれており、それがＬＳＩ製造の障害になるのだという。

■ハイテク工場の排水処理の理想と現実

超純水がバクテリアに侵されて半導体製造の歩留まりが急落する事態は、多くの生産技術者が数えきれないほど体験している。東芝の村岡久志さんは、冬場には起きない歩留まり急落がゴールデンウイーク前後から頻繁に起きはじめることに疑問を抱き、調べてみると、大量のバクテリアが超純水の中で増殖していた。

また、日本電気の生産技術を長く担当された鈴木政男さんにも、水に関する次のような体験があった。

鈴木　あった、あった。私なんか、工場を一週間停めちゃった経験があるんです。これは玉川工場での経験なんですけれども。ICの製造工程ではウエハーを何度も水洗いするんですね。もちろん、この水は超純水。超純水でシリコンを洗うんですけれども、ある夏のこと、突然ICができなくなった。全部が不良品になってしまった。原因を追究しても、原因がつかめない。最後に水しか考えられなくなった。

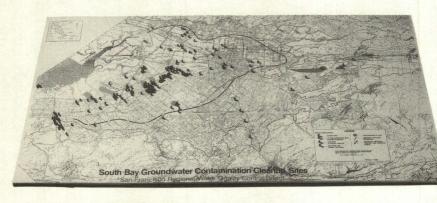
――水は、どこの水を使っていたんですか。

鈴木　水道の水を、イオン交換樹脂で超純水にして使っていたんです。神奈川県は相模川から水を取っていますから、相模湖が水源ですね。そこで、相模川の上流に長沢の浄水場っていうのがあるんで、まずそこを調べた。すると夏のことで、渇水期になったので塩素殺菌を通常より高めたんですね。

――はは一ん、塩素イオンですか。いつもより沢山投入したんですね。

鈴木　いや、違います。カルシウムイオンだったんです。塩素殺菌を高めますと、水中のバクテリアが殺菌されますね。その死骸が純水装置を楽々と通ってきちゃったんですね。そしてバクテリアの死骸がカルシウムイオンに化けた。カルシウムイオンが充満している水で洗ってりゃあ、世話ないですよ。苦労してICにした挙句、最終工程でカルシウムイオンに浸して、表面に金属を塗りたくってるようなもんですからね。

――へえ、びっくり。ある日突然、不良品の大発生ですか。

鈴木　不良品の大発生じゃなくて、良品がまったくできなくなっちゃって、全部不良。それから

シリコンバレー一帯の地下水汚染地図

調査を始めたんだけど、原因が水とわかるのに三日かかって、浄水場まで追究するのに一週間。その間、工場を一週間も停めちゃったんですよ。

——で、結局どういうふうにして、解決なさったんですか。

鈴木　えっ、それまで話すんですか、いやあ、具合悪いなぁ。

——ぜひ。

鈴木　いちばんやったのは煮沸ですよ。莫大な金をかけてね。煮沸する以外ないんですよ。

——えっ、ただの煮沸？

鈴木　蒸留水っていうのが、いちばんということになりましてね。ところが、これはコストは莫大ですよ。膨大な量の水を煮沸して、蒸留水をつくるんですから。

——それは大変なノウハウですね。

林立する水質汚染観察用の井戸

鈴木　いやあ、ノウハウだなんて。べらぼうな金かけてお湯沸かして蒸留して、蒸留水をつくったなんて言ったら物笑いの種さ。あなた、この話はカットしてくださいよ。みっともない話なんだから実際。アハハハハ。

水の問題は、ますます重要になってくる。超LSIの集積度が一層上がっていくと、今度は、水に溶け込んでいる酸素すら邪魔になる。MOSトランジスタの酸化膜の厚さを原子数個分に制御しなければならなくなるのだが、そのときは水の中の酸素すら障害になる。水の中に酸素が溶け込んでいると、酸化膜を原子一個分の厚さに抑えることができなくなるからだという。

トランジスタを一億個も集積する一ギガ（一〇億）の時代には、溶存酸素を除いただけでも不充分になる。現在はどうやってもウエハー表面に残ってしまうオングストロームサイズの微粒子。この正体を突きとめ、排除しなければ、一ギガのメモリーは実現できないというのである。半導体製造における水の研究は、とどまるところを知らない。

ここまではインプットとしての水の問題を取り上げたが、忘れてならないのが、アウトプットとしての排水処理と環境破壊の問題である。原則としてハイテク工場の排水処理は、閉鎖系にするのが理

想である。閉鎖系による排水処理とは、極端な言い方をすれば、使用後の排水を煮詰めて蒸留水と固形物にし、蒸留水は再利用し、残存固形物質は環境に放出することなく管理しようという方法である。ただし、これには莫大な設備投資と維持管理費用が必要になる。国土の狭い日本では、閉鎖系の排水処理が望ましいことは当然である。しかし、できないわけではない。千葉県館山市にあるＮＭＢセミコンダクター社の館山工場では、水の循環使用を行っているからである。

半導体プロセスで使った水の中には、シリコンを切断するときに出る切り屑などの固形物質からさまざまな化学薬品まで、多種多様な物質が混在している。この水を、水と沈澱物に分離し、沈澱物を加熱炉で乾燥させ、固形物にして管理する。沈澱槽から分離した水を、今度は加熱濃縮し、蒸留水と濃縮された化学物質に分離する。蒸留水は、再び微粒子を取り除き、イオン交換処理を施して、超純水として使用する。コンパクトに濃縮された化学物質は、環境に出さないように管理する。これらの処理をすべてコンピューターが自動的に制御していく。これが、閉鎖循環系と言われる水処理の方法である。

三五一ページの写真は、サンフランシスコ地区水質管理委員会（San Francisco Regional Water Quality Control Board）が一九八九（平成元年）年に作成したサンフランシスコ湾南岸地区（シリコンバレー）地下水汚染地区である。黒い点が、半導体製造のために地下水を汲み上げた井戸で、現在有害物質に汚染されているものである。大きな川や湖など水源に乏しいシリコンバレーでは、工業用水は地下水に頼るしかなかった。汚染された井戸からは今、一〇〇種類に及ぶ化学物質が検出されている。

前ページの写真は、フェアチャイルド社の工場廃屋周辺の空き地に立っている水質汚染観察用の井戸である。フェアチャイルド社の第二・第三・第四工場から最初のインテル本社にかけての空き地に

は、このような鉄管が林立している。そうした観察用の井戸が立つ空き地の端には、写真のように、今も放置されたままの排水槽があった。地下水脈の汚染は、こうした水槽やタンクから排水がしみ出て始まったのだという。サンタクララ地域だけでも、一三四の地下タンクから漏れが発見され、汚染された井戸は一〇〇を超えていた。シリコンバレーの地下水汚染は半導体産業の発達とともに全域に広がっていったのである。すでに一部では浄化作業が始まっているが、シリコンバレー全域の地下水を元に戻すには数百年もかかると推定されている。

第8章 「マイクロプロセッサー王国」日本

超LSIへのアプローチ

一九七〇年代の後半から八〇年代にかけて日本の半導体産業が大きな飛躍を遂げた背景には、半導体製造装置の発達があった。特に回路図形をフォトマスクに描く電子ビーム描画装置やフォトマスクの図形をシリコンウエハーに転写する露光装置が、アメリカの超ＬＳＩ技術に追いつく原動力であった。そして、そのどちらにも超ＬＳＩ技術研究組合の果たした役割が大きかった、と言われている。そうした装置のスペックを立案し、発注したのが超ＬＳＩ技術研究組合・共同研究所であった。当時、そこの所長を務められた垂井康夫さん（現在東京農工大教授）は、設立の経緯を、次のように語っている。

垂井　正確な証拠が残っているわけではないんですが、ＩＢＭを見学された偉い方が日本に帰ってきて「ＩＢＭでは一メガ（一〇〇万トランジスタ）のメモリーをつくっていて、試作に成功した。それを超ＬＳＩと呼んでいる。このメモリーを使えば、電算機を飛躍的に高性能なものにすることが可能である。わが国もこれを座視して負けるわけにはいかない。だからわれわれもまた、ぜひとも一メガのメモリーを開発しなければいけない」と言って歩いたんですね。

――なるほど。

垂井　われわれとしましては、その以前からＬＳＩの将来性を深く考えておりましたので、そのような情報に接しなくても当然やるべきだと考えておりましたけれども、われわれのように先の見通しをもっていなかった人たちは「一メガをやろうなんて山師の言うことだ」と

言っていました。

――垂井さんは一メガは可能だと？

垂井　ええ。ですから一メガのメモリーを開発するために何をしたらよいのか、そのめどを立てようというのが、超LSI技術研究組合設立の趣旨でした。

一九七三年(昭和四八年)、IBMは、テレックス社から独占禁止法違反で告訴された。裁判の過程でIBMは、一通の文書を提出した。そのなかでは、IBMの将来計画に触れ、未来のコンピューター計画を「フューチャー・システム」と明記してあった。それには、当時使われていたメモリーの一〇〇倍もの記憶容量をもつ一メガのメモリーを、一九八〇年代前半までに開発する必要があるというのであった。

この情報が、翌年の昭和四九年五月には日本に伝わり、FS(Future System)文書として関係者の間で回覧されたというのである。文書は四、五〇ページほどのコピーで、表紙の日付に「一九七三年三月」と記されていたという。

FS文書に大きく影響されたのが、電電公社と通産省であった。電電公社の武蔵野通信研究所は、昭和四九年六月に「超LSIへのアプローチ」なる計画書を作成し、翌昭和五〇年には、超LSIの開発に着手。一方、通産省も独自に超LSI開発計画を立てた。それが、超LSI技術研究組合の設立であった。

超LSI技術研究組合は、昭和五〇年、通産省によって提唱され、翌五一年に設立された。組合は、傘下に三つの研究所を設置した。コンピューターの開発を目的としたコンピューター総合研究所、情報システムの研究を目的とした日電東芝情報システム、それに超LSIの開発を目的とした超LSI

共同研究所の三研究所であった。組合に参加したのは、日本電気、日立製作所、東芝、三菱電機、富士通のコンピューターを製造している大手五社であった。

超ＬＳＩ共同研究所は、日本電気の中央研究所のなかに設置された。予定期間は四年、総予算七〇〇億円、そのうち三〇〇億円を国が、残りの四〇〇億円を参加企業で負担した。参加各社からは最も優れたエンジニアが出向してきて机を並べ、食事をし、酒を飲み、研究をした。主要目的は一メガ・メモリーの実現に必要な基礎技術の研究であった。こうして四年間、ライバル企業のエンジニアたちが同じ職場で暮らしたのである。

酒場になった専務理事室

超ＬＳＩ技術研究組合・共同研究所の同窓会が、毎年三月の最終金曜日に開かれる。参加者は、日本を代表する電気メーカーのエンジニアたちばかりである。私たちは、平成二年三月に渋谷の万葉会館で開かれた同窓会を撮影取材に訪れた。会場には、かつて同じ職場で働いたエリート技術者たちのうちの三七人が集まっていた。最初に挨拶に立ったのが、通産省から超ＬＳＩ技術研究組合に出向して専務理事を務めておられた根橋正人（現在ニューメディア開発協会理事長）さんであった。

根橋　今日は私はもういいんじゃないかと思うんですが、今まで私は、超ＬＳＩ技術研究組合が失敗だったという話はだれからも聞いたことがない。そういうことを言う人がいないということは、やっぱり超ＬＳＩのプロジェクトは成功したんだというふうに思って間違いないんじゃないか。今日は一〇年目の節目ですが、それを契機といたしまして、超ＬＳＩは

成功したんだということを、これからは言おうかなと思いますが、いかがなものでございましょうか。

全員　異議なーし（拍手）。

ライバル企業から派遣された技術者たちは最初、企業の壁が邪魔をして円滑な人間関係がつくれなかった。企業の壁を崩し技術者同士のコミュニケーションをいかにして円滑にするか。そのことに最も心を砕いたのが専務理事の根橋さんであった。専務理事室を酒場に変え、厳しく飲酒を禁じられていた日電中央研究所の中で、ことあるごとに人を集めては酒盛りを開いたのである。共同研究所で働いた人は、だれもがこうした根橋式組織運営法を口々に懐かしみ、高く評価するのである。開会の挨拶が終わると、一斉に座が崩れ、あちこちに話の輪ができた。それはまるで、旧日本軍の戦友会のような雰囲気をかもしだしていた。

技師A　最初は言葉が違うんですよ。同じことを言うのに、会社によって使う言葉が違っていたんです。ですから最初は、使うテクニカルタームを決めることから始めたんです。

技師B　われわれに非常に有意義だったことは、ある会社にとってはすでに当たり前のことが、別の会社にとっては案外それが当たり前のことじゃなくて、「ああ、そうだったのか」ということが非常に多かったことなんですね。

技師C　A社では悩みの種だったことが、B社では解決済みなので、B社のエンジニアはポッとしゃべる。それを聞いてA社は、ひそかに膝を打つ。もちろん逆もあるわけです。そんなことが日常茶飯事でしたから、LSI技術が、知らず知らずのうちに平準化していった。

技師D　超LSIという新しいことを始めるという触れ込みだったんだけれど、最初は疑心暗鬼

超ＬＳＩ技術研究組合共同研究所の同窓会で「同期の桜」を歌う技術者たち

だった。一体、相手企業からはどんな人材が出てきているのか。しかし互いに同じオフィスに机を並べ、研究をし、食事をし、酒を酌み交わしてみると、日本電気も東芝も富士通も考えていることは同じだということに気がついた。技術的には、まったく同じことを考えているんだなぁということがわかったんです。そういう認識ができてからは、みんなが腹を割ってやるようになりました。

技師Ｅ　結局、成功したいちばんの秘訣は、超ＬＳＩをつくるのに必要な基礎的な共通技術を皆で力を出し合ってやるんだと割り切ったことだと思うんですね。ですから、われわれはモノをつくることは最初から放棄していました。モノをつくることになれば、各社の思惑が前面に出て身動きがと

れなくなったでしょうね。そうなれば、まとまるものもまとまらない。共同研究所が成功したのは、モノづくりという最も血なまぐさい生産現場には踏み込まなかったからだと思います。どの企業の将来にとっても必要な基礎技術だけを研究したのです。あとは、それを自分の会社に持ち帰って再びライバル会社と食うか食われるかモノづくりの戦争をした。ここが、アメリカのセマテック（SEMATECH）と非常に違うところですね。

会社はそれぞれ異なっても、同じ釜の飯を食った者同士として、昔話に花が咲き、現在の仕事についての情報が交わされていく。やがて会合は盛り上がったまま終わりに近づいた。だれ言うともなく技術者たちは肩を組み、「同期の桜」を歌いだした。「貴様と俺とは同期の桜、同じ航空隊の庭に咲く」人々の顔は紅潮し、声が一段と大きくなり、やがて斉唱が終わった。甲高い声が全員に唱和をお願いし、皆が応えた。「超LSI技術研究組合バンザーイ、バンザーイ、バンザーイ」。唱和の中心人物は、ろれつの回らない英語で「ジャパン・インペリアル・カンパニー」とカメラに語りかけた。「意味は？」と問うと、彼は日本語で「日本帝国株式会社」と叫んだ。

ライバル企業とのチームワーク

日本の超LSI技術研究組合の成功に刺激されて、アメリカやヨーロッパにも似たような組織が設立された。一九八九年（平成元年）六月には、IBMやインテル社などコンピューターやLSIをつくる大手企業七社が連合して、四メガのDRAMを開発生産する目的で「USメモリー」社の設立を計画したが計画発表後わずか七か月で挫折し、事業の継続が放棄された。アメリカのテキサス州オース

チンにあるセマテックは、国防総省とAT&T、IBMなど主要な半導体メーカー一四社が出資してつくった共同出資会社である。次世代の技術開発を目指すという趣旨で設立された、いわばアメリカ版技術研究組合であった。一メガのメモリー開発では後れをとってしまったアメリカが、起死回生を狙ってつくったプロジェクトである。一六メガのDRAMを早急に開発し、量産に乗せることが、主要な目的であった。そのリーダーには、一九八八年七月〝アメリカ半導体産業の父〟と言われたロバート・ノイスが請われて就任した。だが、彼の力をもってしてもセマテックの運営は難航した。

こうしたアメリカの共同事業と、日本の超LSI技術研究組合の違いは、一体どこにあるのだろうか。丸紅ハイテックコーポレーションの木村市太郎さん(六五歳)は、自らの体験に基づいて次のように語っている。なお、木村さんは昭和二八年頃ニューヨークに駐在し、三〇〇人を超える日本人技術者をベル研究所やウエスタン・エレクトリック(WE)社に案内した。そんな体験からやがて、半導体を専門とするようになり、半導体製造装置の輸入業務に従事したが、のちには丸紅ハイテックコーポレーションの取締役社長として、アメリカのベンチャー資本とも深い関係をもつようになった。現在は、同社の相談役である。

木村　半導体製造装置というのは、お客様と密接な関係をもたないと、いいものができないんです。お客様の体験とかお客様の知恵をいただかないと、本当に優れていて、しかも使いやすい機械にはならないのです。ところが、そうした機械をつくろうとしてお客様と密接になればなるほど、お客様のプロセスを外に出すということになる。これは、企業秘密を外に出すわけですから、非常に警戒される。この関係をしっかりしておかないと、いい機械はできたけれども、他に売れないということになる。

——泣き所ですね。

木村　一つの装置が完成するまでには、装置メーカーも莫大な投資をしていますから、何とかこれを他にも売って投下資金の回収をしたいのですが、しかし、他に売るということは、お客様のプロセスがある程度は外に流れるということでもある。ここのところが非常に難しいんですが、ここを日本は非常にうまくやった。

——どういうふうにですか。

木村　ここで大きな役割を果たしたのが、通産省主導の超ＬＳＩ技術研究組合でした。この組合が中心となって、どの半導体会社にとっても必要な基礎技術を共同で開発したんですね。半導体デバイスに関する技術ばかりじゃなくて、関連するいろいろな製造装置の開発もリードしたんです。結果として、製造装置メーカーは全デバイス・メーカーの応援を得て非常に優れた装置をつくりあげることになり、そして成功した。これはアメリカになかったことだと思います。

木村市太郎氏

——なるほど。

木村　しかも特筆すべきことは、一流デバイス・メーカーが、惜しげもなく一流のエンジニアを超ＬＳＩ技術研究組合に参加させた。単に政府がお金を出すだけでは駄目なんですね。やっぱり、一流メーカーが本当に共同作業をやろうと腹をくくってトップエンジニアを出した。これが他の国では、なかなか難しいんじゃないかと思いますね。

――そうですか。

木村　アメリカで、もし同じことをやるとなったら、A社とB社は対等には並び立たない。A社がリーダーシップをとると、B社は自社の独自性が失われると言う。他社の影響下に入るのを極端にいやがる。したがってB社はけっしてトップエンジニアは出さないで、二流・三流どころを出してお茶を濁す。

――すると超LSI技術研究組合は、日本特有なんでしょうか。

木村　特有と言うより、特異とさえ言えるんじゃないでしょうか。私は一度、超LSI技術研究組合の皆さんのお供をして、アメリカのメーカーやヨーロッパのメーカーを回ったことがありました。あのチームワークのよさを見て、彼らがライバル会社の技術者同士とは到底思えませんでした。こんなことは、アメリカも含めて他の国では考えられませんね。同じような組織をつくっても、ああいうまとまり方はなかなか難しい。セマテックがいちばん手こずった要素の一つも、それなんですからね。

――なるほど。

木村　ですから、そうやって開発された日本の装置とアメリカの装置が競争するのは大変なことですね。と言いますのも、アメリカの装置メーカーというのは、デバイス・メーカーにいたエンジニアが飛び出して会社をつくる。だから、やれる範囲が決まってきますわね。これじゃ、日本の装置にかなわない。このへんが、日本の装置メーカーとアメリカの装置メーカーと差が開いていった、大きな原因の一つだと思いますね。

アメリカの国家的戦略の指針

ここに、A STRATEGIC INDUSTRY AT RISK――A Report to the President And the Congress From the National Advisory Committee on Semiconductorsという報告書がある。『危機に立つ戦略産業――半導体に関する国家諮問委員会から大統領並びに議会への報告』（一九八九年一一月）、全四〇ページの小冊子である。米国第一〇〇議会は、一九八八年に制定された「半導体研究開発に関する国家諮問委員会法」に基づき、半導体に関する国家諮問委員会を設置した。目的は、半導体の国家的戦略を立案することである。委員会は、経営環境部会、市場部会、技術部会の三部会を組織して、幅広くデータや意見を収集し、それらを分析し、提言をまとめた。ここでは、報告書の概要を、原文の抜粋でお伝えしたい。

〔1〕大統領への手紙――

かつて隆盛を誇った米国の半導体産業が衰退している原因は、数多い。まず最大の原因は、外国のメーカーが資金環境に恵まれていることである。彼らは長期低金利で忍耐強い資本を使うことができる。外国企業はまた、米国と違い、企業の壁を越えてさまざまな協力ができる環境にあり、しかも政府は、他国企業との競争に対してさまざまな保護政策をとっている。しかし、米国半導体産業の衰退の一部の責任は、米国企業の経営者に長期的視野が欠如している点にもある。米国半導体産業の衰退は、米国の経済および安全保障に対し、受け入れがたい脅威になる。われわれは、国家がとるべき半導体戦略の初歩的なステップを提示する。このレポートに基づいて、わが国が果敢な行動をとれば、雇用の機会は増加し、新たな富が生まれ、防衛力が増強するに違いない。

〔2〕半導体の国家的役割――

世界における五〇〇億ドル（六兆五〇〇〇億円）のチップ市場は、七五〇〇億ドル（九七兆五〇〇〇億円）の家電製品市場を生み出し、それらが米国だけで二六〇万人の雇用を生み出している。米国の国家防衛も優秀な半導体に深く依存しているのは言うまでもない。

〔3〕半導体産業を支える二つの柱――

半導体産業を支えているのは、二つの企業群である。一つが年間収入二〇〇億ドル（二兆六〇〇〇億円）も生み出す半導体製造メーカー。もう一つは五〇億ドル（六五〇〇億円）の収入を生み出す半導体材料および製造装置メーカーである。エレクトロニクス産業のこれらの両分野のメーカーによって支えられている。この分野でのリーダーシップの喪失は、半導体産業ばかりでなく、他の産業をも弱体化させる。しかるに、両分野における米国の力はこの一〇年の間に激しく衰弱してきた。

〔4〕半導体製造分野の衰退――

米国の半導体産業は、この一〇年で世界市場における支配的シェアを失い、リーダーシップは大部分、日本へ移った。この一〇年で米国の半導体産業全体では収入が三倍になったのに対し、日本のメーカー全体の収入は八倍になった。半導体産業は他の産業に比べて、莫大な研究開発費が必要である。ところが、米国のチップ産業は、研究開発費で日本の企業にはるかに及ばず、差は広がる一方である。

初めてＩＣが売り出された一九七〇年、日本のマーケットシェアはゼロだった。それが一九八八年には、世界のＤＲＡＭの八〇パーセントを日本のメーカーが占めている。メモリー分野でアメリカは急速に弱体化したわけだが、これが大問題である。なぜなら、メモリーは他の最先端技術と不可分の関係にあり、特に広範な加工・製造分野の技術革新を支えているからである。

米国の半導体産業は技術力が衰退し、マーケットシェアを失い、収益が減少し、研究開発費や資本

投下が減り、その結果、さらに一段とマーケットシェアを失うという悪循環に陥った。米国は今やいくつかの分野で優勢を保っているに過ぎず、これから優位に立とうとしている分野は、皆無である。かつては優位を保っていたコンピューター制御による製造、品質管理、パッケージング、テストなどの重要な技術分野でも、優位性が失われている。技術的ノウハウというのは累積的であるから、一度技術的優位が失われると、挽回するのは容易ではない。

〔5〕半導体材料および製造装置関連分野の衰退――

上記のように、わが国はチップ製造の分野で激しくシェアを失ってきたが、半導体材料・製造装置企業の分野でも深刻な事態が進んでいる。半導体材料や製造装置の衰退は、アメリカの半導体産業の基盤を根底から揺るがし、ひいてはエレクトロニクス製品市場自体の衰退をもたらした。

現在、サブミクロン(一ミクロン以下)の超微細な加工技術の八五パーセントが極東にある。そして、日本の主要なチップメーカーは、彼らが管理できる日本の材料・装置メーカーと組みたがり、したがってわが国の半導体製造装置メーカーは深刻な打撃を受けている。刻一刻と外国の半導体製造装置企業が技術力を蓄え、市場を席巻しているのに、わが米国はシリコンなど数々の半導体材料、フォトマスクなどリソグラフィに関連する装置やテスト装置など大半の分野で世界市場から撤退を余儀なくされている。今も生き残っているわずかな米国企業は、アジアの顧客と緊密な関係を確立できたために成功していると言っても過言ではない。

わが国の半導体メーカーはすでに、主要な材料や装置を外国に頼っている。顧客である半導体メーカーが衰退している以上、そこに材料や製造装置を供給するメーカーも衰退するのは当然である。業界のある調査によると、米国企業が購入する次世代の製造装置の七〇パーセントが日本製になるとい

う。われわれはもはや、わが米国の半導体産業はもちろん、材料・製造装置産業が衰退し続けることを容認できない。わが米国には、完全自前の半導体産業が必要である。自前の半導体産業が保証してくれるようなレベルの軍事的、技術的、経済的恩恵を他国の企業に依存できる見通しはないからである。

〔6〕衰退の結果——

半導体がもたらす経済的、技術的、安全保障的な恩恵は、アメリカにとってさまざまな面で有益である。わが米国が市場を支配できなくなり、先端的な生産技術が弱体化すると、今われわれが手にしている利益の分け前を失うことになる。

半導体関連の製品を輸入に頼っていたのでは、結局われわれは他国の研究開発の成果を商品という形で買うに過ぎず、技術や知識がわが米国内で生まれることもなく累積的教育効果もないという結果を招く。また、たとえわが国のなかに設立した外国企業が研究開発をしていようとも、わが国の産業を支える先端技術を彼らに依存するのは危険である。

〔7〕半導体産業に衰退をもたらした経営環境——

半導体産業の衰退の根本的な原因の一つは、米国と他国の競争相手の間の政策や慣行の違いにある。最も重要な違いは、外国企業が低コストの資本を調達することができ、しかも一方では閉鎖的市場に保護され、他方ではダンピングなどの貿易習慣の恩恵を享受できたことである。国家はさまざまな政策で市場の閉鎖性を維持し、開発にはさまざまな補助金を出し、企業間の共同研究開発を奨励するなど、幅広い指導と助力を惜しまなかった。

一方わが米国は、こうしたハンディに加え、多様な問題を抱えている。国民を教育し訓練するという最も基本的な部分で、わが国はもはやトップクラスではない。わが国の教育制度は理論的な専門分

野では優秀な学生を育ててきたが、製造分野のための訓練を怠ってきた。米国の競争力を維持するために必要な生産性と品質を保つことが絶対に必要であることは論を待たないが、この点でわが米国の教育は、人材を育てることを怠った。この点を見直す必要がある。

アジアのライバルたちは、エレクトロニクス製品や半導体製品の品質がいかに大切であり、そのことに対する消費者の要求がいかに切実なものであるかということに、早くから気がついていた。さらに、日本人は、技術的な諸問題を乗り越えるために企業間が共同して取り組むという方法を効果的に使ってきた。一方、米国では、企業同士の関係は敵対的で契約的関係にある。

最後に、わが国の半導体メーカーを不利にしているのは、相手国との間に法的制度や慣行の違いがあることである。特に知的所有権に関する法律と独占禁止法については、わが国の企業は非常に不利である。極東のほとんどの国が知的所有権を充分に守ろうとはしないからである。

〔8〕半導体産業に衰退をもたらした市場要因――

米国チップメーカーにとって根本的に問題なのは、顧客が極東に移動してしまったことである。一九八四年には、わが国と欧州で製造されたエレクトロニクス製品が、全半導体の六三パーセント使われていた。それが、一九八九年には四七パーセントと減り、やがて半導体の最大の消費者は、日本になった。特に深刻なのは、家電製品の生産が極東へ移動したことである。一時は、ラジオ、テレビ、ビデオデッキ（VTR）などの生産で米国は支配的であったが、次々と米国のシェアは激減してきた。二〇〇〇年には、家電製品用の半導体売上で、日本は米国を一三五億ドル（一兆七五五〇億円）も上回ると予想されている。この予測が正しければ、日本は半導体製造から生み出される利益のなかから、米国より一〇億ドル（一三〇〇億円）以上も多い研究開発費を賄えることになり、技術格差が一段と拡

大することが考えられる。
わが国の半導体メーカーは、依然、国内のチップ市場の七〇パーセント近くを押さえているが、家電製品の生産地が極東に移動している事実はきわめて重大なことである。なぜなら、わが国の半導体メーカーや関係省庁が非常に努力したにもかかわらず、日本のチップ市場に、わが国の製品が占めるシェアはわずかに一〇パーセントにしか伸びていないからである。このまま推移すると、家電製品の生産がアジアへ移動するにつれ、米国チップメーカーの市場が縮小していくに違いない。一方、特筆すべきことがある。わが国のチップ市場に占める日本製チップのシェアは、一九八〇年代に五パーセントだったが、現在、三〇パーセントへと急上昇していることである。
極東のメーカーは、ビデオレコーダー、ファクシミリ、CD、ラップトップコンピューター、光学ディスク記憶システム、レーザープリンター、ポータブル電話などさまざまな商品を開発し、大きな市場をつくり出した。それらが膨大な半導体需要を生み、かつ高度な技術を生み出す母体になっている。この巨大な日本市場に、米国の電気機器メーカーはほんの一部しか参加できていない。米国が、このような新しい家電製品市場に本格的に参入すれば、米国チップメーカーが直面している問題のいくつかが解決できるはずである。
こうした日本の市場形成を見習うまでもなく、わが国が何よりもまず取り組むべきは、高度な技術を要する新しい家電製品を米国のメーカーの手で生み出すことである。そうすれば、米国製チップの需要は増え、米国製チップを海外の家電製品用にも輸出できるようになると考えられるからである。
〔9〕半導体産業に衰退をもたらした技術要因——
半導体メーカーが最先端技術の分野で重要な位置を保ち続けるためには、以下のことをよく認識す

る必要がある。まず第一に、経営の任に当たる人々は、長期的視野に立ち、着実な改良を積み重ねで製品の品質を向上させていくだけの忍耐力が必要であること。第二に、一つの製品が成功するということは、数世代にわたる技術蓄積によって初めて達成されるものであること。第三に、一つの製品が市場で成功するのは、何年も前から優れた人材を投入し、充分な設備投資をしなければ覚束ないことである。

日本の半導体産業は、以上のことをかなり前から認識しており、一方では、市場で激しく競争しながら、他方では、必要とあらば企業間が共同で研究開発をしてきた。対するに、わが国の企業は、半導体製造の分野でも、材料供給の分野でも、製造装置の分野でも、持続的で協力的な共同研究をしたことはなかった。わが国の企業同士は常に敵対的関係にあり、互いに協力し合うことがなく、一企業の手に負える範囲でしか開発が行われてこなかった。

ようやく近年になって、わが国の半導体産業も共通の技術資源をプールしようという動きが活発になっている。その具体的な現れの一つが、セマテックである。これは政府の援助を受けたコンソーシアムで、半導体製造技術の向上を目指しており、まさしくわが国の半導体産業再興のためには不可欠な努力であるが、年間予算わずか二億ドル(二六〇億円)では半導体産業の抱える問題の解決は、到底望めない。

〔10〕以上の分析に基づく「半導体の国家的戦略に向けての指針」の提案――

まずわが国半導体産業の経営環境を整備充実するために、次の五点を改革する必要がある。その第一は、資本形成を促進することであり、第二に、教育制度を改善すること。第三に、貿易法を改革し、第四に、知的所有権を保護すること。最後に、独占禁止法の運用を改善することである。

以上が原文の抜粋による報告書の概要である。

アメリカ企業を揺るがすベンチャー資本

この報告書も指摘している通り、アメリカの半導体産業は、半導体装置産業の衰退と無縁ではない。フォトマスクから回路図形をシリコンウエハーに転写する、露光装置のメーカーであるパーキンエルマー社は、リソグラフィの部門を日本の「ニコン」に売ろうとしたが、AT＆TやIBMなどアメリカの大企業に猛烈に反対され、合併話がご破算になった。微細加工のなかでも最も重要な技術が、日本にすべて移転してしまうことを、アメリカのAT＆TやIBMや国防総省が恐れたからだ、と言われている。

こうした製造装置産業の衰弱について、先に登場した丸紅ハイテックコーポレーションの木村市太郎さんは、次のように語っている。彼は、アメリカの装置メーカーと共同開発した半導体製造装置を何度も日本の顧客に売った経験があった。したがって、上記の報告書よりはもっと迫真的である。

なお、木村さんとの対話のなかに頻繁に出てくる「ベンチャーキャピタル」は成長性のあるベンチャー・ビジネスに投資をする企業のことを言うのだが、では「ベンチャー・ビジネス」というのは何かと言えば、文字通り「venture：冒険的でリスクの大きな」ビジネスなのだそうである。要するに成長の可能性をもってはいるが絶対成功するとは限らないビジネスのことであり、その可能性に賭けて資本を投ずる投資会社のことを「ベンチャーキャピタル」と言うらしいのである。

木村　アメリカの装置メーカーの創業者は、ほとんどが半導体メーカーの出身者なんです。半導

体メーカーで蓄積した経験と知識を元手に会社をつくり、装置をつくる。資金がなければ、ベンチャーから金を引き出す。ベンチャーはリスクを覚悟で金を出すわけですが、出した金をできるだけ早く、できるだけ膨らませて回収するということに非常に熱心なわけですね。

——ベンチャーキャピタリストが投資するお金というのは？

木村　それは、個人がキャピタリストに、年利三五パーセントから四〇パーセントで預けたお金なんです。たとえばあなたが二〇〇万ドル出し、私が二〇〇万ドル出す。ベンチャーキャピタリストは、われわれの出した金を「技術はあっても金がないところ」に投資する。投資が成功すると、年間三割から四割の配当をもらえる。その代わり、下手すると投資した資金すら回収できない。一年先の保証は何もない。成功率は、おおざっぱに言って三分の二。三分の一は、大失敗。それこそ、投資した金がただの紙になってしまうんですがね。まあ一〇社に投資して三社潰れ、残りの七社から上がってくる利益でベンチャーキャピタリストに働いている人たちに給料を払い、立派な事務所費用を払い、さらに出資者に配当金を渡さなければいけない。だから、ベンチャー資本というのは利に敏感なわけですね。

——なるほど。

木村　非常にエゴが剥き出しで、投下した資本を早く回収することばかりに熱中する。だから三か月ごとの業績しか眼中にない。しかも、業績が上がったところで会社をまるごと売って儲けようなどと考えているんです。だから長期的な展望に立って開発をするなど到底望めない。

――なるほど。

木村　そのうえ、お金のお目つけ役としてビジネススクール出の秀才がやってくる。彼らは数字いじりには精通していても、商品のことはよく知らない。たとえば、今や半導体の業界では日本のマーケットこそが戦場なんですが、その認識がまったくない。年間売上の三割は日本で売れているのに、日本のマーケットについては何の知識もない。

――やっぱりわかってないですか。

木村　まったくわかっていない。それから、まったくやりきれないのは、彼らは合併とか買収の声がかかってほしいと考えていることですね。

――会社を高く売ると？

木村　そうです。われわれはそういう感覚ありませんのでね。いい機械をつくって日本へ持っていって売ろうと思っているんですが、彼らの思惑はまったく違うんですね。

――痛烈ですが、何か体験がおありなんですか。

木村　私は、アメリカで取引き先の会社の役員をやったことがあるんです。そりゃ、もうエゴが剝き出しでしたね。たとえば、私の関係していた会社が他の会社と合併することになった。ところが、経営者の関心は株価のことだけ。合併したら相手が上場会社だから株は上がり、自分の持ち株が高く売れ、早く処理できるとか。

――開発どころじゃありませんね。

木村　優秀なエンジニアが、そういう雰囲気を嫌って去っていく。あれでは次世代のエンジニアが育つわけがない。

――悲劇的ですね。

木村　そうなんです。シリコンサイクルは、なくなった、なくなったと言われても、まだあるわけですから。不況は必ず定期的にやってくる。しかし、企業は常に次世代の装置を開発しなければいけないという宿命があるわけですね。二つのサイクルに跨って同じ装置が使われるということは絶対にないわけですから、大きな危険負担を承知で投資をし続けなくてはならない。

――装置が陳腐化しちゃっては競争に勝てない。

木村　陳腐化までどんなに長くもっても四年ぐらいですから、それまでには装置を一新しなければ、必ず競争に負ける。下手すれば、二年で時代遅れの技術に成り下がるかもしれないんですから。したがって、どんなに不況のときでも次世代の技術に対して充分な投資をしないと、やがて倒れるときがくる。しかし、不況のときにも開発費を出し続けるのは大変なんですね。それは、ベンチャーキャピタリストには耐えられない。アメリカの半導体産業は、あらゆる局面で新しい選択を余儀なくされていると思うのです。

では、先の報告書『危機に立つ戦略産業』についての意見は、どうなのか。セミコンウエストに参加していたアメリカの半導体装置メーカー七社の経営者に求めてみた。七人とも、報告書については正しい事実認識と妥当な結論だと話してくれた。

全員の論評を載せたいところだが、紙数の関係で、先に登場したワイヤーボンダーのメーカー、キューリック・アンド・ソファー社の社長の見解をお伝えする。

キューリック　特に的確な指摘だと思う点は、経営環境に関することです。アメリカの企業経営

が抱える大きな問題の一つは、経営者が「短期的な視野でしかものを見られない」ということだと思います。四半期ごとの利潤や採算に神経質になるあまり、長期的な視野で技術開発をしたり、技術力を向上させていこうという意欲に欠けています。

——なるほど。

キューリック 現在の金融制度のもとでは、企業が長期的な展望のなかで、技術力を育てるというわけにはまいりません。アメリカの金融制度はそれほど忍耐強くないからです。これは究極的には、国の問題だと思うんです。国のレベルで解決していかなくてはならない問題です。政府の財政政策や税制を変えることによって、解決しなくてはならない問題なのです。

——品質の高い、よい製品を開発するためには、長期的で安定した財政的なバックアップが必要だということですか。

キューリック そうです。われわれはそのことを、強力なライバル日本から学んだのです。わが社の場合にはベンチャーキャピタルの資金を入れず、長期的な視野で経営をすることができました。われわれも株式は公開していますが、株主の方たちは短期的な利潤ばかりを追うベンチャー資本ではなく、将来の展望をより大切に考える投資家たちに支えられています。確かに株価という面では低迷し、落ち込んだということがありましたが、そんなときでも、株主の方たちは将来の発展を見越して忍耐強く我慢してくれました。そんなわけで、私どもは長期的な業績を目指して経営することができたのです。

——やればできることを立証なさった？

キューリック　アメリカにある多くの企業は、ことごとに日本を非難したい誘惑にかられてきたわけですけれども、われわれの問題は、そのようなことでは何の解決にもなりません。解決策は、日本にあるのではなくて、アメリカ自身にあるのですから。アメリカの制度を変えることで、われわれ自身の国際競争力を高めなければならないと私は考えているからです。

■〝アメリカ半導体産業の父〟死す

一九九〇年（平成二年）六月四日（月曜日）の早朝、シカゴのホテルでリサーチャーの野口修司さんに電話で起こされた。

「大変です。ロバート・ノイスが死にました」と声がうわずっている。びっくりして食堂に降りてみると、野口さんが『ニューヨーク・タイムズ』を広げて唸っていた。一面の右下に大きく「マイクロチップの発明者ロバート・ノイス六二歳で急逝」という記事が出ていた。

その日は、シカゴからアーバナ市にあるイリノイ大学へ行き、そこでトランジスタの発明者の一人であるジョン・バーディーン博士のインタビューを予定にしていた。前年にはウィリアム・ショックレー博士が逝去し、ウォルター・ブラッテン博士は他界してからすでに久しかった。その日うかがうことにしているバーディーン博士も、八二歳の高齢であった。直前まで日本旅行をしておられたので、旅の途中でもしものことがあったらインタビューはできないかもしれないと恐れていた。

しかし、バーディーン博士が無事アメリカに戻られてほっとしていた矢先、今度は、何の心配もし

An Inventor of the Microchip, Robert N. Noyce, Dies at 62

By CONSTANCE L. HAYS

Robert N. Noyce, an inventor of a computer chip that revolutionized the electronics industry and gave rise to the era of high technology, died yesterday at Seton Medical Center in Austin, Tex., after suffering a heart attack at his home. He was 62 years old.

While Dr. Noyce's name never became widely known to the public, his work helped make possible products including personal computers, pocket calculators, programmable coffeemakers and microwave ovens and computerized flight plans for commercial and military aircraft.

In many ways, Dr. Noyce was an embodiment of Silicon Valley, the area of Northern California that is home to a great many high-technology companies, many of them started by young

ロバート・ノイスの死を伝える『ニューヨーク・タイムズ』（1990年6月4日）

セマテックに掲げられた半旗

セミコンウエストでＮＨＫの取材を受けるロバート・ノイス氏。最後の遺影となった。

弔辞を述べるウィルフレッド・コリガン氏

ていなかった若いロバート・ノイスが世を去った。そして半年後には、ジョン・バーディーン博士も他界。半導体技術を築いた偉人たちが、私たちの番組制作中に相次いで鬼籍に入られたのである。

私たちの取材スケジュールは、ロバート・ノイスのインタビュー日時を中心に組んだと言っても過言ではない。日本の取材陣を嫌ってなかなかインタビューに応じなかったロバート・ノイスが、やっとのことで半日の時間を私たちに割いてくれることになっていたのである。セミコンウエストの会場でも面談して、テキサス州オースチン市でのインタビューを再度了解してくれたばかりであった。そのノイス博士が、心臓マヒで急逝したのである。

その日、ジョン・バーディーン博士のインタビューが終わるとすぐに、ノイス博士の葬儀の予定を取材した。葬儀は、二回予定されていた。セマテック主催とインテル社主催の二つである。私たちは、一週間後にシリコンバレーのサンノゼ市民ホールで行われる後者主催の葬儀を取材することにした。

セマテックは、ノイスの力をもってしてもその成功は覚束ないと言われていた。そんな苦境のなかで彼が突然、世を去った。〝裏切りの八人〟の一人が、彼の死を「日米半導体戦争における戦死」と表現した。私たちがセマテックを訪れたとき、セマテックにはひっそ

りと半旗が掲げられ、深い哀しみを表していた。

インテル社によるロバート・ノイスの葬儀は、サンノゼ市の市民ホールで行われ、三〇〇〇人の参列者があった。かつてショックレーのもとから一緒に離脱して、共に歩んだゴードン・ムーア。フェアチャイルド社の創業時代からの苦労を共にしてきたアンディー・グローブ。だれもがロバート・ノイスの業績を讃え、その早すぎる死を惜しんだ。

米半導体協会SIA（Semiconductor Industry Association）の副会長ウィルフレッド・コリガン（LSIロジック・コーポレーション会長）は、次のように挨拶した。

「ボブ・ノイスが仲間たちと設立したフェアチャイルド社からは、沢山の芽が育ってきました。プレーナトランジスタ、MOSトランジスタ、そして集積回路などの発明です。私たちの半導体産業は、彼の業績の上に築かれました。フェアチャイルド社を退社すると、ボブはインテル社を設立し、旺盛な企業家精神を発揮しました。MOSトランジスタを使った集積回路、RAM（読み書き自在のメモリー）をはじめとするさまざまなタイプのメモリー、マイクロプロセッサー。半導体を使った主要な製品の大半は、彼のもとから生まれてきたと言っても過言ではありません。ボブ・ノイスは半導体産業にとっては自動車産業におけるヘンリー・フォードであり、電信電話通信事業におけるグラハム・ベルでした。彼は本当に傑出していました。私は彼と出会えて光栄でした」

挨拶が終わると、万雷の拍手がそれに応えた。もっともロバート・ノイスが設立したフェアチャイルド社の死に水を取ったのもコリガン氏であった。瀕死のフェアチャイルド社を、油井の探査会社シュランベルジャー社に高値で売却したのである。

トランジスタの発明者ウィリアム・ショックレーが故郷のパロアルトに会社をつくり、そこに全国

から優れた英才を集めた。やがて彼のもとに馳せ参じた八人の若者たちがショックレーのもとを離れ、フェアチャイルド社を設立し、それがシリコンバレーという世界的な電子産業のメッカの核となり、アメリカ半導体産業の一翼を担っていくのである。その中心にはいつもロバート・ノイスがいた。最後に、国家の命運を賭けるプロジェクトが彼の手に委ねられ、目的が達成されないままに世を去った。

そのロバート・ノイスの半生について余すところなく聞けると期待していたインタビューが、不可能になった。『電子立国 日本の自叙伝』の番組に使ったロバート・ノイスのインタビューのほとんどは、シリコンバレーのサンノゼ放送局が収録したビデオテープを借りたものである。しかし、NHKの資料室にも、彼への独自インタビューがいくつか残っていた。そんな資料映像のなかにあったのが、次に紹介するロバート・ノイスの肉声である。これは一九八〇年（昭和五五年）に、インテル社のノイスのオフィスで行われたものである。

ノイス　日本人はパーティにやってきて、主人が精根込めてつくった料理のおいしいところだけをつまみ食いして、他の連中にはいつも食べカスだけを残していく無礼な客といった見方もありますね。

——無礼な客ですか。

ノイス　これは私が言ったのではありませんよ。しかし、実によく日本的な振る舞いを言い当てていると思います。実際、振り返ってみると、日本のやり方というのはいつもこうでしたから。

——なるほど。

ノイス　つまり、外国の新しい技術革新を真似して、それを改良することに情熱を注ぐわけです。

そして、それらを、高い品質で、安くつくる。確かに半導体製品の製造技術ではすばらしい成果を上げげたと思いますが、しかし日本のエンジニアたち一人一人が、どれほど世界の技術革新に貢献したか。つまり革命的な技術を生み出したかということになると、いかがなもんでしょうかね。

本書の上巻で紹介した通り、ロバート・ノイスがまだショックレー研究所に在籍していた頃、彼は、コロラド大学で行われた空軍主催の非公開の研究会に出席した。そこにWE社の技師長に伴われて傍聴しにきていたのが、日本電気の長船廣衛さんであった。ノイスは気さくに長船さんに声をかけ、やがて親しくなった。フェアチャイルド社が開発した画期的なプレーナトランジスタの独占使用権を日本電気に売ったのも、二人の人間関係が縁になっていた。

親日家として長く日本の半導体産業の発達を支援してきたロバート・ノイスも、日本の半導体産業の急成長とともに、厳しい批判を口にするようになった。少なくともここ数年、彼が日本企業や技術者に対して抱いていたイメージは、「人が苦労してつくった料理のうまいところだけをつまみ食いして逃げる無礼な客」であったようである。こうした批判の声に、日本人はどう応えるべきであろうか。

時代の幸運と自らの努力で育った日本

ここで、日本の半導体技術を草創期からリードしてきた二人の先覚者の意見を紹介する。

まず元ソニー中央研究所所長の菊池誠（六六歳）さん。彼はトランジスタが誕生した直後に、元通産省工業技術院電気試験所に研究員として入所。以来、長く半導体の発達とともに歩んでこられた方で

ある。

——よく日本人てのは、模倣の人種とかいろいろ言われますよね。そのへんは、いかがお考えになってますか。

菊池　あのね、先日イタリアで会議があった。その主題が「模倣から創造まで」という題でした。で、僕の番になったとき、「僕は題が気に入りません。〝模倣と創造〟っていうのは対置概念ではないと思う」と言ったんです。僕が癇癪を起こして本をポンと投げると、僕の子どもが急いでやって来て同じようにポンと投げる。つまり、知的な活動ってのは真似するってことと不可分なんですよ。学ぶ意欲、知的な活動力のある人ほど、何かを取り入れようとしますから、「真似る」というプロセスが必ず入るんです。だから、真似ってのは、クリエイティビティの第一歩だと思っているわけ。

——なるほど。

菊池　それからもう一つは、さっきもちょっと申し上げましたけれど、外国人は、日本人がトランジスタにしろ何にしろ、エレクトロニクスみたいな物を何でも真似すると非難しますね。アメリカのアイディアを日本が盗むと。じゃあ、アイディアだけ盗んで商品がいきなりできるかって言うと、これは、できない。アイディアからディベロップして、ディベロップしたものを商品にして量産するまでには一〇倍、一〇〇倍、一〇〇〇倍も力が要るわけです。

菊池誠氏

——工夫も加えてね。

菊池　日本のように、戦争に敗けてレベルの低いところから始めなければいけなかった国は、ある段階ではどうしても模倣をしなきゃなんなかった。だから日本は、物をモディファイする力はあるけどクリエイティブな力がないとか、創造性に欠けるという議論は、単純に過ぎると僕は思っているんです。

——しかし、半導体技術のほとんどがアメリカから生まれたのも事実。

菊池　そうです。過去四〇年に限って言えば、山登りであった。僕たちが登ろうとする山をアメリカが先に登っていた。先進国のアメリカは僕たちの前で、滑ったり転んだりしてくれた。彼らが転ぶとわれわれは転ばないことを学んだ。あれは転ぶからやめよう、ってんで僕たちが非常に効率よく行動できた。

——アメリカの恩恵ですね。

菊池　だから、この間もアメリカの大学で話したとき、率直に言ったんです。アメリカには大変恩恵を受けました。われわれはあとから歩いてきたから。そのアメリカの登っていくスピードがこのところ落ちてきた。これ、アメリカが怠けてんじゃなくて、半導体技術は今、成熟期なんですよ。成熟期になると、先進国ほど苦労するわけです。つまり技術が成熟してきますと、次の一歩を踏み出すためにかかる研究開発費ってのは、ものすごく増えるわけです。先を走ってるほうほど、損しちゃうわけです、今度は。

——でも、日本だって楽してこうなったんじゃない。

菊池　そうです。ですから、外国に行きますと、必ず聞かれることがあるんです。日本みたいに

速く追いつくには一体自分たちは何をしたらいいか、秘訣を教えろって。そのとき、僕は、口まで出かかって言えないことがある。いまだにお昼寝をする国があるんですが、そういう国に限って成功の秘訣を聞かれることが多いんです。口まで出かかって言えないことというのは、もし日本がお昼寝してたら今の日本にはならなかっただろうってこと。

――そして、戦後の日本がトランジスタ時代に遭遇したという幸運もある。

菊池　日本は戦後、何にもなくなって無一文から出発した。廃墟の中からね。そこへちょうどトランジスタが登場した。で、何年かたってはっと気がついたら、トランジスタから集積回路、マイクロコンピューターと、日本はエレクトロニクスの最先端を走っていた。そして実は、これこそが近代技術文明の真髄であった。でも実は、日本がより好みしてこの道を選んだのではない。

――廃墟からの再出発が、トランジスタ時代と同時期だった幸せですね。

菊池　そう。ですから確固とした技術や産業をもっていたところは、日本ほど簡単に新しい産業に参入できなかった。スイスがなぜエレクトロニクスに後れをとったかと言えば、あの国が機械工学のすばらしい力をもってたからなんですね。何を見ても機械工学でできると思っているわけ。トランジスタなんていかがわしい技術に頼らなくても、機械工学で全部できると自負していた。それで、エレクトロニクスに乗り遅れてしまった。

――なるほど。

菊池　だから日本の今日あるのは、大きく分けると、この二つの要因があるんですね。だから、アメリカやヨーロッパと付き合うときによく説明しないといけない。「日本はアンフェアだ」

と言われたら、われわれは時代の幸運と自らの努力をちゃんと分けて言わなきゃいけない。本当にわれわれも長所だと思うところは、これはわれわれの努力でできたことなんだと、はっきり言わなきゃいけない。そういうことが大事だと思うんです。

——日本がアメリカに占領されたってことは、ある意味で幸運だったたんですね。

菊池　絶対そうですよ。絶対、そうです。しかも日本の国土が半分に分けられなかったってのはもう、最大級に感謝しなきゃいかんと思いますね。韓国がね、熱意の点では日本以上かもしれないです。だけど、韓国は政治的に南北に分かれているっていうハンディがあるために、日本のような具合にいかない。日本は防衛費なんて考えなくてよかったわけですからね、最初はむしろ考えちゃいかんと言われたんだから。日本てのはいろんな幸運が幾重にも重なって現在があると考えなければいけませんね。

必要な技術をクリエイトする使命

次いで、東北大学学長西澤潤一さん。西澤さんの恩師であった東北大学工学部の通信研究所所長の渡辺寧教授は、終戦後しばしば上京して、GHQ（連合軍総司令部）のCCS（民間通信局）に出頭していた。そんな関係から、渡辺教授はトランジスタの誕生をいち早く知ることができた。彼は、その情報を電気試験所の駒形所長に伝えるとともに、仙台に帰るや、渡辺研究室にトランジスタの研究に着手することを命じたのである。その研究メンバーに参加した一人が、若き日の西澤さんであった。肝心のゲルマニウムはなく、与えられた研究室は老朽化がひどく、屋根がないに等しかった。そんな貧

困時代に出発して、今日まで四四年間、数々の世界的な業績をあげてこられた西澤潤一博士は、こう語るのである。

西澤　日本人というのは、危機に臨むと大変な集中力を出す民族ですね。それから真っ直ぐな道路を走るときの日本人の能力というのはすごいですよ。ICがいよいよでき上がってメモリーができた途端に、日本の能力というのはぐんぐん上がっちゃって、最初の頃はアメリカが九九パーセント以上も独占していたものを、あっという間に逆転しちゃった。現在では一メガのメモリーの占有率は、アメリカは二パーセントか三パーセントじゃないですか。四メガになると、おそらくゼロになるだろうと言われています。完全に逆転する。私はメモリーのビット数は一〇〇メガまでいくだろうと思っているんです。だから日本の一人舞台が続くんじゃないかと思うんですが、ただしこれは真っ直ぐ走って改良だけやっていけばできる技術なんですね。この範囲じゃ日本っていうのは猛烈に強い力を発揮するわけです。ところが残念ながら新しいものをやろうということになると、からきし駄目ですね。

——でも、日本が戦後ここまで来れたというのは、模倣に徹したということも一つありますね。

西澤　その通りだと思いますね。ただ、ここまで豊かになってきたら、今度は自分がクリエイトする義務を背負うんだということだと思うんです。開発というものはお金がかかるんです。今まで日本人というのは、それを外国人にやらせて、出てきた結果をいただいた。外国人の開発努

西澤潤一氏

力におんぶしてやってきたからこれだけ叩かれるんですね。そりゃ模倣も一つの天才ですし、安くていいものを世界中に普及させたということは、それはそれで、大変大きな功績だったと思いますが、これからはそうであってはいけない。それだけじゃ、恨まれますよね。

——これからは？

西澤　ええ。それから、人間社会というのはそれだけじゃ、立ちいかなくなるんじゃないでしょうか。環境問題も充分に考えて、将来人類が必要とするであろうところの産業開発をやるということを、やっぱり考えるべきじゃないでしょうかね。

——なるほど。

西澤　東南アジアもどんどん力をつけてくる。東欧がいよいよ工業化に参加するでしょう。皆で同じものをつくり、過当競争になっちゃう。当然、そんなにモノが売れませんから不景気が来るだろう。そうなると、資源をもたない国というのは弱いんです。つまり製造業で、日本は生きているんです。だから日本は、新しい産業を興して食べていくしかない。

——はい。

西澤　今の経済というのは、貨幣経済なんです。だから、金があればモノに交換できるというのが前提になっている。でもこれから先は、金をもっていたって売ってくれないモノがいっぱい出てくるんですね。エネルギーを使ってもいいか、いけないかということは金で決まるんじゃなくなる。お金に代わる何を提供できるか、それが国家の生存を大きく左右する時代がくると思うのです。

——はい。

西澤　この間も、アメリカのシュトラウス通商産業代表が来たときに、私は「産業に国が援助するのは不公正競争だとかなんとか言って、お互いにクレームをつけたりしているようでは新しい産業が興りませんよ」と言ったんです。国家はどんどん産業の創造を援助する。しかし、人の真似をするところには金は出さない、真似をしないで独創的な産業展開をするところには大いに政府が援助してやろうじゃないかということにしなきゃ、世の中おかしくなるんじゃないかと私は思うんです。

——なるほど。

西澤　それから、最後に言わせていただくと、日本人に独創性がないのではない。日本人の独創性を日本人が認めようとしない。日本の企業はこれまで、日本人が生み出した発明を積極的には工業化しようとしなかった。八木アンテナしかり、マイクロウェーブしかり、フェライトしかりです。日本人の発明というのは、けっして少なくないんですが、残念なことに、それが日本の中でまったく工業化されていない。

——評価されない？

西澤　評価されないし、工業化もされないですね。やがて外国が同じことをやるようになってから、日本が真似るわけです。

——残念で、不幸なことですね。

西澤　まず、これを変えていかなければいけないと思いますねえ。

日本的伝統が半導体技術の習得の決め手

「電子立国日本の自叙伝」の放送は、平成三年の九月に終わった。その直後、何を勘違いされたか、私は電気通信情報学会から論文執筆の依頼を受けた。素人だからとんでもないと再三断ったが、素人の目で書いてほしいと言われ、よんどころなく引き受けた。

かつてある先輩から、ドキュメンタリー番組の精神は「録・釈・論」だと教えられた。記録を重ねれば、自ずから解釈が成り立ち、解釈ができれば自然に論は立つ。これが「録・釈・論」。しかし、「釈・録・論」でも、「論・釈・録」でも、いけない。これを間違えると、暴論になったり、私たちの業界用語でいう「やらせ」に陥ったりする。したがって、私はこの「録・釈・論」を座右の銘にしているが、依頼された論文もこれでいくことにした。

今までひたすら記録してきたインタビューを熟読し、分類整理しているうちに、自然と事実が解釈を指し示し、なんとなく論らしきものが書けるだろうというわけである。だが、結局書けたのは雑文となんら変わりない稚拙な駄文であった。まことに恥ずかしい限りであるが、最後に、素人の作文で本書をしめくくらせていただくことにする。

題して、「日本人技術者の知的集団主義」である。

＊

〈平成三年に六回にわたって放送したNHKスペシャル「電子立国日本の自叙伝」は正味で三年、あしかけ四年の時間をかけて準備した。驚異の現代半導体産業を紹介し、一つ一つの技術がだれの手によって生み出され、日本の技術者たちがそれらをいかにして学んでいったかを描くシリーズ番組であ

った。そのために私たちは日米双方で、およそ一〇〇人近い科学技術者の皆さんに直接インタビューをさせていただいた。そうした体験のなかで強く感じたことがいくつかある。

まず何よりも真っ先に触れておかなければいけないと思ったことは、日本という国の運のよさである。

太平洋戦争で数百万の命を犠牲にして死闘を演じた相手が、アメリカであったこと。そのアメリカから半導体技術が生まれたこと。国力が最も充実していた時代のアメリカが莫大な資金と膨大な知力を結集して生み出したトランジスタ技術を、惜しむことなく日本に分け与えてくれたのである。これはどう考えても運がよかったとしか言いようがない。仮に戦った相手がソ連で、そのソ連がトランジスタを生み出したとすれば現在の日本の繁栄はなかったに違いない。

しかも、半導体技術が実験室レベルの初期段階で日本が参入できたことも特筆すべき幸運であった。半導体技術が五〇〇に余る超一級の技術に支えられ、一棟の半導体工場を建設するだけで一〇〇〇億円という莫大な資金が必要になっている現在、後発諸国が半導体産業に参入するのは至難のことに違いない。あらゆる試行錯誤を机の上でやれた時代に技術の基礎を習得できたことは、これも日本の幸運であったように思う。

しかし、その幸運はパイオニアたちの貪欲な好奇心と不断の努力によって手にできたことも事実である。誕生したばかりのトランジスタを、風聞だけで理屈も不明なままにつくってみようと七転八倒した先人たちの好奇心。これがなかったら、今日の半導体立国日本はなかったに違いない。まずは何事も理屈抜きでやってみる。この日本的な伝統のおかげで先人たちは半導体技術の押さえどころ、つまり、何がわからないか、何を学ばなければいけないかを悟ってしまったのである。無手勝流ながら

自分でがむしゃらにやってみたことで、相手のノウハウに接したときに、それが決め手だということを瞬時に理解できたに違いない。

日本文化特有の稽古事の作法が、これまた非常に役に立ったようである。まずは問答無用で教師の教えに従う定石主義。剣道、柔道、茶道に華道、あらゆる芸事が師匠の教えを理屈ぬきで固く守り踏襲する。基本が身についたあとで独自の創造性を加えていく。これは日本の平均的教育水準の高さもあいまって、半導体技術を吸収するうえでは非常に役に立ったというのである。「稽古事の基本」は半導体産業の基礎を学び、短期間に習熟するには大いに役に立った。その場合、師匠はRCA社であり、GE社であり、WE社であり、ベル研究所であった。

現代は日本の企業に開発途上国から多くの青年たちが技術を学びにやってくるが、かつて技術を学びにアメリカに行った日本の先人たちと非常に違うところがある。それは開発途上国の青年たちは、すぐに「なぜそれをしなければいけないのか」と反問することだという。彼らには、理屈ぬきで定石を学ぶという伝統がない。やらせてみると何一つできないのに、理屈ばかりこねくりまわして行動を起こそうとしない。したがって、基礎技術がなかなか向上しないというのである。まず定石を身につけてから理屈を考え、独自の創造を加えていく日本の伝統的な学習法は、外国の知識や技術を吸収するうえでは非常に効果的であったと言える。〉

▨日本人技術者の知的集団主義

〈さて、取材中に最も感心した大きな点は、日本企業に潜む知的集団主義であった。それは知的共産

主義とさえ言えるかもしれない。知的集団主義には二つの側面があって、学習における知的集団主義と、創造におけるそれである。

まず学習編。たとえば、ある技術者が会社の金で海外出張したとする。この場合、彼が骨身を削って仕入れた知識はすべて会社のもので、みんなの財産になる。工場は彼が骨身を削って収集した知識を手ぐすね引いて待ち受けた。草創期の日本の半導体産業界が多くの技術者をアメリカに送り、膨大な技術情報を吸収し、いち早くアメリカをキャッチアップできたのも、実はこの知的集団主義が大きく役に立ったようである。

これは、日本人から見ると何の不思議もない至極当たり前のことであるが、実は日本以外の国ではけっして当たり前ではない。海外に進出していった日本企業の多くが戸惑うことの一つが、知的個人主義である。現地採用の従業員を日本に出張させて知識を授け、技術を身につけさせる。当然、会社の金でそれをやるのだが、帰って来た従業員は「自分は知識も技術も今までより高い能力を習得したのだから月給を上げてくれ」と要求する。そして「それができないのなら、自分はほかの会社に転職する」と言うのである。

つまり、たとえ会社の金で派遣され、会社の努力で学習させてもらおうとも、自分の身についた知識や技術は厳然として個人のものなのである。たとえ個人の才能や努力から生まれた結果であっても、それらはすべて集団の共有財産であるという日本の知的集団主義は、アメリカの開発した基礎知識や技術を組織的に吸収し、改良し、生産性を上げていくことに絶大な威力を発揮したのである。

さて、知的集団主義にはもう一つの側面がある。創造における集団主義である。アメリカ人の関係者にインタビューして感じる共通点がある。それは、科学的な発見や、開発した技術の細部までが、

だれの功績によって実現したかということが実に明確であったということである。日本の場合は、ある技術について「だれがやったことか」と問うと、多くの場合は「みんなでやった」ということになる。強いて問い質すと、おおむねそのときの上司の名前に落ち着くのである。根掘り葉掘り聞いていって、ようやく技術のディテールが、それぞれ、だれの発想や思いつきによって実現したのか判明してくるのだが、それがわかるまでは時間がかかる。聞かれた上司も、積極的には固有名詞を語ろうとはしない。

聞いてみると、開発現場にも知的集団主義が貫かれていて、どこまでがだれの業績なのか判然としない。一言叫んだ言葉がブレークスルーのきっかけになったとしても、それは単なる一声に過ぎず、個人的な発想が果たした意義よりも和がもたらした成果と考えるのである。そして、ブレークスルーのきっかけになった個人よりも、グループの和を調整した管理者のほうが評価されるのである。

そうした日本的な開発風土に比べると、アメリカの関係者たちの姿勢は実に明確であった。この技術の、この部分はだれそれの考えで、この部分は別のだれそれと、問えばたちどころに固有名詞が出てくる。科学的な発見や開発した技術の細部まで、だれの功績かということが明確に区分けされていて、けっして「みんなでやった」ということにはならない。関係者のすべてが自分の果たした役割、他人が築いた業績、部下一人一人の果たした功績などを実に正確に把握し、評価し尊重し合っている。そしてだれもが「最初にやったこと」に対して絶大な敬意をはらうのである。

そんな研究風土のなかでは、他人のあとを追うということは恥であり、他人がやらないことをやることが誇りになる。したがって彼らがあるテーマに取り組みたいと思ういちばん大きな動機も「だれもやっていないからやりたい」のであって、他人のやったこと、やっていることに追随するのは恥ず

べきことだという考えが根強い。

一方、日本の技術者の場合は、ともすると「だれかがやっているから自分も負けないでやる」場合が多い。方向がおおむね見えている事柄を「みんなで」手分けして、他より早く、精緻に手際よく実現するのが得意のようである。

したがって、歴史を揺るがす革命的な新技術を生み出すことはできないが、他人が生み出した技術を、より洗練し応用することになると独壇場である。新技術を、一方では新商品の開拓に注ぎ込み、もう一方では生産技術に注ぎ込む。多種多様な応用商品を生み出し、それらを最先端の生産技術で量産し、高い品質の商品を安く市場に送り出す。

その典型が電卓であったが、電卓ばかりではなかった。トランジスタラジオ、家庭用のVTR、テレビゲーム、ファクシミリ、パソコン、ワープロ、数えあげればきりがない。それらが次々と新しい市場をつくり出し、膨大な量の半導体需要となって跳ね返ったのである。軍需産業と宇宙開発に依存するあまり民需商品の開拓を怠ったアメリカが、やがて日本の大衆商品に圧倒されていくのである。

確かに、知的集団主義は、方向性がはっきりしているときは威力を発揮する。たとえばプレーナ技術という革命的な技術が日本に上陸してきたとき、日立製作所の技術者たちは独自技術の開発に挑み、成功した。研究所の一人の技術者の発想を工場現場の技術者たちがプレーナ技術に対抗できるものにまで、集団で仕上げていったのである。

ところが、知的集団主義はともすると、異端者の存在に厳しくなる傾向がある。日本人特有の同質性を重んずる気風が、それを一段と助長する。上記の企業の場合も、全社一丸となってアメリカの特許上陸と戦っているときに、MOSトランジスタの研究に熱中していた技術者は奇異の目で見られた。

しかし、時代はすぐにＭＯＳ・ＩＣの時代に入り、彼のおかげでＭＯＳ・ＩＣに乗り遅れないで済むのである。この事例は、企業にとって異端児の存在がいかに大切なことであるかを示唆してはいないだろうか。異端児を抱えこむことのできない企業は、時代が激変したときに方向転換ができず、全員玉砕の憂き目にあうに違いない。

さて、アメリカの研究者にとって個人として最大の動機が「他人がやらないから自分がやる」ことであるように、企業もまた「他社がやっていないからわが社がやる」というのが開発の動機である場合が多い。しかし日本の場合は、「他社がやるから当社もやる」という追随型である。儲かると予測できる事柄には殺到するが、先行き不透明な対象には消極的である。異端を嫌う同質性が、この傾向に拍車をかける。昨年六月、〝アメリカ半導体産業の父〟と言われたロバート・ノイスが若くして他界したが、彼は生前「日本人はパーティにやってきて、主人が精根込めてつくった料理のおいしいところだけをつまみ食いして、他の連中にはいつも食べカスだけを残していく無礼な客」とＮＨＫの取材班に語った。

点接触型トランジスタも、グロウン型トランジスタも、アロイ型トランジスタも、メサ型トランジスタも、プレーナ型トランジスタも、集積回路も、メモリーも、マイクロプロセッサーも、半導体史上画期的だと言われた技術は、原理から製造法まですべてアメリカ人の努力と英知が生み出したものではないか。このどれを日本人が生み出したのか。まだ日本が貧困にあえいでいたときならいざ知らず、世界で最も富める国の一つになった今、日本が目指すべきは、これまでアメリカが担ってきたように、儲かるとは限らない未踏の分野にも人材と資金を投じて新知識の発見や新技術の創造をすることではないか。世界がこれからの日本に期待するのはそのことなのだと、ロバート・ノイスは言いた

かったのではなかろうか。

そうした要請に、これまでの日本的な知的集団主義だけで応じることができるとは思えない。知的集団主義の利点を温存しながら、いかにして個人の創造性に活躍の場を与えていくか。その日本的な仕組みを編み出していく必要があるように思う。おそらくそれは日本企業の体質はもちろん、教育のあり方にまで関わる大きな問題であると思うのである。

かつて、トランジスタの発明者ウィリアム・ショックレーが一〇年を超える失敗の連続をものともせずに研究を続けた。その情熱と不撓(ふとう)不屈の開発魂が、最後にトランジスタを生み出し、二〇世紀の文明を変えたのである。そのことに私たちは今こそ思いをいたすべきではないだろうか。〉

あとがき

あとがきを感謝の言葉で綴りたい。何よりもまず取材に応じてくださった日米の出演者の皆さん。貴重な映像を撮影させてくださった諸々の企業。積極的に技術復元をしてくださった研究所。番組を見てくださったお客様。誤りの指摘をしてくださった専門家。励ましの手紙をくださった皆さん。考えると、足を向けて寝られないところばかりである。

この番組には、二つの賞を頂いた。高柳記念科学放送賞と、国際科学技術映像祭の産業部門の銀賞である。またこの番組を制作したことが評価され、私自身が放送文化基金の個人部門で表彰され、芸術選奨の文部大臣賞を頂いた。思いもよらぬ栄誉にびっくりし、感激した。テレビ評論家の坂本洋さんや松田浩さんをはじめ、ご支援くださった多くの関係者に心から感謝したい。

私たち放送屋にとっては、活字メディアで褒められることは何より勇気が出るものである。最初の一本目を放送した直後、志賀信夫さんから「新・石器時代〜驚異の半導体産業〜」についての批評を掲載した新聞記事と肉筆の書簡を頂いた。最初の放送がどのような反響を呼ぶか非常に不安だったときだったので、スタッフ一同ほっと胸をなでおろし、同時に感謝した。

昨年の八月のことだったと思うが、『週刊新潮』の連載記事「たかが、されどテレビ」で麻生千晶さんに「科学というと頭痛がする人間が見ても、こいつはおもしろいヨ」と書かれてびっくりした。この番組を見てくださる方々は、たぶんビジネスマンに限られるだろうと思っていたので、女性が、あ

のように「メモをとりながら」熱心に見てくださるとは思ってもみなかったからである。当時は後期シリーズの放送中だったが、私たちは天にも昇る気持ちで、「最後までなんとかこのペースでいこう」と張りきったものである。

また、『朝日ジャーナル』一九九二年の二月二八日号の「MEDIA」欄で、科学評論家の鹿野司さんが、次のように書いてくださった。以下、少し長くなるが、原文から引用させていただく。

「科学技術のもつ面白さを、テレビという媒体で表現するのは、なかなか難しい。というのも科学技術の面白さを楽しむには、どうしてもある程度以上は、『正確』な理解をしなければならない部分があるからだ。ところがテレビは極めて強力なメディアではあるが、そんな正確さを伝える能力をほとんど持っていない。もちろん、文章や式でいくら説明されてもピンとこない難解な内容が、たった三秒の動画像を見ただけで分かってしまうということもある。そういう表現はテレビの持つ力ではあるけれど、やはり正確さはある程度犠牲にしたうえでの表現なのだ。

ただ、科学技術というのも、しょせんは人間がやっている行為なので、その内部には正確さ以外の面白い要素が無数にある。その中からテレビというメディアに一番ふさわしいものをうまく引き出して形にしたとき、非常に優れた作品ができあがる。例えば、そのもっとも成功した例が、『電子立国日本の自叙伝』だろう。科学技術というと、難しく、冷たく、厳しく、乾いていて、遠いというイメージが一般的だけど、この作品は人間に対する強いシンパシーを基盤に作品を作っているから、技術者を見る目がとてもやさしい。どうせ人間のやることなんだから、失敗があったり、セコかったり、ユーモラスだったり、でもすごいヒラメキがあったり、愛があったりする。そしてあたらしいものを見つけたり形にする時の子供のような喜びをいつまでも持っていられるなんて、なんて技術屋という

のは羨ましい商売なんだろう、ということが見事に形にされている。」

テレビは、情報を一方的に送り出すメディアである。したがって自分が送り出した番組がどのように受けとめてもらえたか、もらえなかったかについて、担当者は大変神経質になる。褒められれば有頂天になり、けなされれば浮かぬ気持ちで日々を送るのである。そんな私たちにとって、上記の論評は大きな自信と勇気を与えてくれるものであった。伝え手の志を一〇〇パーセント汲み取っていただけたものとして、心から嬉しく思い感激した。私はさっそく礼状をしたためた。これも原文通り使わせてほしい。

「この度は朝日ジャーナルのメディア欄に『NHKスペシャル電子立国日本の自叙伝』を取り上げていただき、大変ありがとうございました。御指摘の技術者に対する視線は、恐らく私たちが科学番組専門のセクションの人間ではなく、教養文化番組のセクションに属し、その上一番年長者の私が長い間ヒューマンドキュメンタリーを手がけてきたせいかもしれません。二八年も昔のことになりますが、NHKには『ある人生』という番組がありました。私は長い間その番組の担当者でした。そのせいで、何事も常に人間を中心に据えて考える癖がつきました。今度のシリーズも、そうした傾向がチーム全体の思想になったように思います。技術者の皆さんの人生を、誠実に、しかも生き生きと描くには、彼らが置かれた社会的な環境や時代的特質から目をそらすことができないのは当然として、それ以上に大切なことは技術に対する態度でした。技術をその原理から、試行錯誤のディテールに至るまで正確に理解し、かつ、わかりやすく伝えることが絶対に必要だと考えました。

ともすると、人間を描くのだから技術はいい加減でもいいという考えに陥りがちですが、私は逆だと考えました。ある技術者が悪戦苦闘し七転八倒した試みをブラウン管の向こうのお客様に正確に伝

えようとすればするほど、彼が取り組んだ事柄の詳細を私たちが誠実に理解し、同時にお客様にわかりやすく、興味深く伝えなければならないと考えました。その上で、彼はこの部分でこんな失敗を繰り返し、こんなきっかけで乗り越えることができた。しかも、なんとそれが意外にもちょっとした失敗がきっかけだったのだ、などと伝えることができて初めてお客様が技術者の行為の正確な意味を知り、心から納得し、感銘を受けるに違いないと考えたのです。ですから、私たちが文化系の科学技術音痴であっても、基本的な技術知識をおろそかにするわけにはいきませんでした。それが、番組に登場される方々に対する私たちの礼儀だと考えました。ましてや科学技術を専門とするセクションでつくる番組のように、テレビで自分の知識を誇りたいなどという気持ちもありませんでした。また、ある先覚者が『君たちジャーナリストは技術のディテールなど知る必要がない。それが社会に果たした役割だけを伝えさえすればよい』と助言してくれましたが、私は最初からその考えを取りませんでした。その理由は先ほど書いたとおりです。」

さて、私はつねづね、放送のために収集した膨大な文献、一次資料、実物、写真や映像、証言者の肉声などを、その大半を放送終了とともに廃棄してしまうのはなんともったいないことだろうと感じていた。それらのすべてを、単に放送資料の二次利用という消極的な理由からではなく、活字メディアの別個な商品としてお客様に提供できるのではないかと思っていた。放送番組の制作で培った伝達の精神と技術を活字メディアに活かせないはずはないと信じていた。執筆を引き受けたのも、そうした理由からである。番組のシリーズ放映中に上巻を出し、全部の放送が終了した直後から中巻、下巻、完結巻と四冊を連続して書いてきた。約七か月の間に、三冊を執筆するのは、正直言って並大抵のことではなかった。一時は、本の執筆を引き受けたことを後悔したほどである。これが果たせたのも、

実はワードプロセッサーという電子機器があったからだと考えている。この番組では、重要な関係者だけでも日米六〇人を超える皆さんにインタビューをさせていただいたが、インタビュー収録中に並行して回した録音テープを、取材直後からワープロで活字に起こしていったのである。ロケ先の宿でも、移動中の車の中でも、新幹線や、航空機のなかでも、国内でも海外でも、ひたすら対話を活字にしていった。

ところが、会話を活字に直しただけでは読める文体にはならない。しゃべっている当人は論旨明快のつもりでも、活字に直してみると、重要な言葉が抜けていたり、話があらぬ方向に脱線したり、回りくどかったり、説明不足だったりしているのである。それを前後の関係を補ったり、順序を入れ換えたり、もっとわかりやすい表現に変えたり、ご本人の真意に合わせて文体を整えなければならなかった。こうして活字化し、加筆したインタビュー録が、国内関係者だけでフロッピーディスクで五〇枚にもなり、プリントアウトしたペーパーがA４判（四〇字三〇行）で二〇〇〇枚近くに達した。

このインタビュー記録を全部読んでくれた先輩がいた。『ある人生』時代から優れたドキュメンタリー番組のつくり手として、私が深く尊敬していた工藤敏樹さんである。二八年に及ぶ付き合いのなかで、ことあるごとに的確な助言を与えてくれ、激励してくれた。私は企画を思いつくと相談に行き、取材が終わると体験談を報告し、放送が終わると感想を聞きに訪ねた。彼の言葉は、私にとっては誰の言葉よりも重みがあった。だから私は、『電子立国』の制作中もインタビュー録を活字に起こすあとから、工藤さんのところに送りつけたのである。テクニカルな言葉や難解な理屈が頻繁にでてくるインタビュー録を、彼は本気で熟読して感想を書き送ってくれた。日本の戦後史を語るうえで、かくも重要な事柄があったのかと驚き、それを記録し伝えることは、ドキュメンタリー屋としては宝島に遭

遇したようなものだと言い、番組ができ上がるのを期待してくれた。
五人目のインタビュー録を送り届けた前後から、彼は体調を崩し、入院した。その病床にも記録を送り続けた。そのたびに感想と励ましの言葉を記した手紙が届いた。当初の楽観的な予想とは異なり、工藤さんの病状は次第に悪化した。番組の放送が始まり、終わり、中巻を書き終わった頃には、すでに面会ができなくなっていた。せめて刷り上がったばかりの本を携えて病床を見舞い、積もる話を聞いて欲しかった。年が明けると病状が急変、一月下旬に工藤さんは亡くなった。ついに、本書を彼に読んでもらう機会を失った。彼が生きていたら、読後の感想をどう言ってくれただろうか。おそらく彼は、番組や本のことなど一言も触れずに「次、何をやるの」と聞いたに違いない。すでに終わったことより、「次に何に取り組むのか」ということに、より一層の関心を示す人であった。
かつて工藤さんから「君はなぜ技術にこだわるの」と聞かれたことがあった。確かに、『石油・知られざる技術帝国』も『自動車』も『電子立国』もテクノロジーとそれに取り組む人間群像を題材にしていた。そのとき工藤さんには、次のように答えたように思う。昭和二〇年八月、満州で敗戦を迎えた私の一家は、混乱の渦中に放り出された。北朝鮮（朝鮮民主主義人民共和国）との国境に近い和龍という小さな町であった。父は前年の暮れに招集され、マニラの激戦地に出征して行った。母と三人の子どもは激動の日々に翻弄された。ソ連兵の進駐から始まった略奪と強姦の毎日。新しい支配者たちが朝鮮人小学校の校庭で毎日のように開いた恐怖の人民裁判。すべてを失った日本人は、飢餓の集団と化し、多くが死線をさまよった。半分の日本人がその年の冬を越せず、餓死した。
そうしたなかでだれからも大切にされ、食うことに困らなかった日本人がいた。医者、看護婦、そして電気技師。母が女手一つで三人の子どもを残留孤児にすることなく内地に連れ帰ることができた

のも、彼女が産婆の免状を持ち、看護婦の資格を持っていたからであった。たとえ体制が逆転しても、人間の営みのなかでは出産も病気もなくならなかったからである。母は、日本人からも現地の人々からも大事にされ、私たち兄弟は餓死を免れた。そして当時一〇歳だった私は、電気技師という職業に憧れた。

三つ子の魂のたとえ通り、私は長じて電子技術者を目指した。しかし、叩き上げの警察官だった父は、長男である私が高級警察官僚としてエレベーターコースを歩むことを夢みた。大学の進路を選ぶとき、父は法学部を強く主張し、私は理工学部を志望した。結局、両方を受験し、皮肉にも父が望む法学部に合格し、理工学部は落ちた。父の希望に添って法学部に入学したものの、私は警察の道は選ばず、放送屋になった。工藤さんには「たぶん、エンジニアに対する憧れみたいなものが潜在意識のなかにあるのかもしれない」と答えた。それを聞いた工藤さんは、「結局俺たちは知らず知らずに自分の『ある人生』を描いているのかもしれないねえ」と感慨深げであった。そう言われてみれば、国家の原罪を描こうとした『引き揚げ船興安丸の生涯』も、南米移住船あるぜんちな丸の航海を通じて戦後移民の実態を描いた『乗船名簿ＡＲ２９』も、どこか自分の原体験が影を落としていた。

さて、良い番組ができるときというのは、必ず多くの人たちの力が積み重なっているものである。この番組も例外ではなかった。エレクトロニクス産業を取り上げたいと提案したとき、即刻強力な支援態勢を敷いてくれたのは北山章之助さん（昭和六二年当時のＮＨＫスペシャルの編集長）であった。最初に制作チームを編成してくれた千葉勉さんと冨沢満さんと宮下宣裕さん。タイトルを決めるときに「工業立国」ならぬ「電子立国」という造語を使う決断をしてくれた小川悳一さん。メディアミックスの調整に奔走してくれた坂井茂生さん。予算の策定と海外取材の事務手続きを処理してくれた菊地正

浩さん。膨大な作業量を処理するために機材と労力の調達に日夜奔走してくれた宮崎経生さん。最後の仕上げ工程でプロデューサーを担当してくれた大井徳三さん。逡巡する私を強引にテレビに押し出し、あの三宅民夫アナウンサーと引き合わせてくれたのも彼であった。結果的には、その判断が正しかったようである。ラッシュ（撮影してきた素材映像）の試写で交わされる自由で気楽な会話を番組に取り入れようと主張したのは彼であった。

アメリカ側の取材については、リサーチャーの野口修司さんの尽力に負うところが非常に大きかった。関係者の消息や現場や事物を丹念に調べて取材交渉を粘り強くをしてくれた。ロバート・ノイスとのインタビューが可能になったのも彼の交渉能力に負うところが大きかった。取材のエスコートからインタビューまで、彼のおかげで私たちは国内取材と同じレベルの収穫を得ることができた。

海外取材が終わった時点で、放送計画をつめるために仮の構成台本を書いた。全部で七本シリーズ。全部で、Ａ４判の原稿が五〇〇枚ほどになったが、それを熟読して六本の放送計画を決断してくれたのは河野尚行さん（平成二年当時の編集長）であった。こんな難解な番組が総合テレビのゴールデンアワーに出せるのだろうかと不安になっていた私たちスタッフに、「これは当たる」と断言し、鼓舞してくれた。スタッフは再び気を取り直し、最後の仕上げ工程に前進した。制作過程で、肝心のお客様がどう感じるか、理解できるか、理解できないとすればその原因はどこにあるのかを第三者の目で冷静に助言してくれたのは、ＮＨＫ特集『自動車』を共に制作して以来の、いわば盟友にも近い山田卓さんであった。

スタッフの活躍については、本文中でも折に触れて書かせていただいたが、大きな役割を果たしてくれながら触れる機会がなくて書けなかったのが、コンピューターグラフィックスを担当してくれた

岩田智佐子さんである。超ＬＳＩのチップに搭載された回路の顕微鏡映像から、八メートル四方にも及ぶ原図の全景まで、長大なズームバックをしてみせる映像は、彼女の執念にも似た修正技術によって初めて可能になったのである。

この番組を企画の段階から、活字化を勧めてくれたのは、ＮＨＫ出版の社長の尾西清重さんと、編集局長の玉井勇夫さんであった。尾西さんも玉井さんも、私が直接仕えたＮＨＫスペシャル番組部の上司であったが、特に玉井さんからは出版する本は「取材班」としてではなく固有名詞で書いたらどうかと、勧められた。自分の名前で本を書くなど考えてみなかったことなので、しばし尻ごみしたが、優れた編集スタッフをつけてくれるというので、清水の舞台から飛び降る思いで決心した。

編集長の長岡信孝さんをはじめ、スタッフの高木信さん、石川潔さん、渡辺靖子さんなどの力で、当初志したとおりの本ができた。まえがきで決意表明をしたように「登場人物の肉声を大切にし、開発現場から中継するがごとく臨場感に富み、集めた材料を駆使して、料理番組のように親切に表現し、テレビ番組以上に中身の濃い本をつくってみたい」という希望が叶えられたのも、編集の皆さんのおかげである。

大変厳しい読者に徹して、助言し続けてくれたのが、私の駆け出し時代からの先生である小倉一郎さんである。しばしば彼は「各巻の末尾に人物名や事柄や用語などの総索引をつけなさい」など適切な忠告をいくつもしてくれたが、手が廻らず結局、実行できなかった。

最後に感謝すべきは「私のカミサン」である。この三年間、私は毎週ウィークデーの間は近所のホテルに泊まり込んで仕事をしてきた。朝六時にホテルから出勤して夜の一一時半まで仕事をしたのだが、そんなわけで週末しか家には帰れなかった。毎週月曜日には彼女はパンツと下着と靴下を五セッ

ト整えて快く私を家から送り出してくれたものである。私についてきたスタッフもおそらく、似たような生活を送らざるをえなかったに違いない。日本には「亭主元気で留守が良い」という風潮があって、本当に助かった。

最後の最後に、専門家の書いたものでもない本を四冊も買って読んでくださった多くの読者の方に心からお礼を申しあげたい。難解な話に長い間お付き合いいただきまして、本当にありがとうございました。

一九九二年五月一日

相田　洋

本書、取材協力及び証言者（敬称略）

◆取材協力

財団法人・半導体振興会半導体研究所
ＩＮＴＥＬ
ブイ・エムテクノロジー株式会社
株式会社ビジコン
株式会社ミライシステム
インテルジャパン株式会社

シャープ株式会社
九州日本電気株式会社
三菱電機株式会社
ＳＥＭＩジャパン
高橋精機株式会社
株式会社ディスコ

株式会社三井ハイテック
キューリック＆ソファー
株式会社新川
株式会社オルガノ

◆証言者（証言内容当時の肩書と取材時点での肩書、アイウエオ順）

柏崎登志雄（当時ビジコ社常務取締役、サンディック社代表取締役）
金子茂三郎（当時ニコン精機事業部第二製造部ゼネラルマネージャー、ニコンテック顧問）
菊池　誠（当時通産省工業技術院電気試験所研究員、ソニー中央研究所所長、ソニー技術顧問）
木村市太郎（当時丸紅ハイテックコーポレーション取締役社長、同相談役）
小島義雄（当時日本計算器社長、ビジコン社代表取締役社長）
小宮啓義（当時三菱電機北伊丹製作所製造管理部次長、三菱電機超ＬＳＩ研究所所長）

鈴木宗一（当時日本電気集積回路事業部員、日本電気マイクロコンピューター事業部長代理）
鈴木政男（当時日本電気玉川事業所設備課長、九州日本電気社長、ミナトエレクトロニクス社常勤監査役）
嶋　正利（当時ビジコン社技師、現在ブイ・エム・テクノロジー社副会長）
新開恵子（当時九州日本電気品質管理課員、現在主婦）
関家憲一（当時第一製砥所取締役副社長、現在ディスコ社社長）
関家臣二（当時第一製砥所取締役、現在ディスコ社副社長）
高橋春男（高橋精機社長）
垂井康夫（当時超ＬＳＩ技術研究組合共同研究所所長、現在東京農工大教授）
西澤潤一（当時東北大学工学部通信研究所教授、現在東北大学学長）
根橋正人（当時超ＬＳＩ技術研究組合専務理事、現在ニューメディア開発協会理事長）
福本隼明（当時三菱電機中央研究所研究員、現在超ＬＳＩ研究所ＬＳＩプロセス開発第三部環境制御技術グループマネージャー）
藤山健二（当時新川営業部長、現在同専務取締役）
三井孝昭（当時三井工作所社長、現在三井ハイテック会長）
山崎幹也（当時新川取締役電気部長、現在株式会社マルテック社長）
吉田庄一郎（当時ニコン精機事業部精機設計部ゼネラルマネージャー、現在ニコン事務取締役）
ゴードン・ムーア（当時フェアチャイルド社研究開発部長、現在インテル社会長）
スコット・キューリック（キューリック＆ソファー社社長）
テッド・ホフ（当時インテル社アプリケーション担当技師、現在コンサルタント）
フェデリコ・ファジン（当時インテル社プロセス担当技師、シグナ・テクノロジーズ社社長、現在シノプティクス社社長）
レスター・ホーガン（当時フェアチャイルド社社長、悠々自適）
ロバート・ノイス（当時インテル社社長、のちセマテック会長）

■NHKスペシャル「電子立国　日本の自叙伝」スタッフ

制作協力　NHKエンタープライズ
語り　三宅民夫
取材　行成卓巳
　伊藤　真
　古賀龍威智郎
撮影　澤中　淳
照明　坂本光正
音声　富永光幸
技術　太田　司
音響効果　斎藤　実
海外リサーチ　野口修司
アート・コーディネイト　藤田惣一郎
CG製作　岩田智佐子
科学実験　鷲塚淑子
模型製作　田中義彦
デスク　宮崎経生
制作　大井徳三
企画・構成・演出　相田　洋

編集協力　石川青藍社
　山本嘉昭
　広地ひろ子
写真撮影・提供　日本テキサス・インスツルメンツ
　キイーストーン
　「電子立国　日本の自叙伝」プロジェクト
レイアウト　町山悦子
図版トレース　野村写植

相田 洋（あいだ　ゆたか）
1936年生まれ。60年早稲田大学法学部卒業。同年NHK入局。ディレクターとして、「ある人生」「乗船名簿AR—29」「石油・知られざる技術帝国」「核戦争後の地球」「自動車」「電子立国日本の自叙伝」など多くのドキュメンタリー番組を制作。イタリア賞グランプリ、テレビ大賞、芸術祭大賞など数多くの賞を受賞している。「電子立国日本の自叙伝」で、平成3年度芸術選奨文部大臣賞を受賞。

NHK
電子立国　日本の自叙伝［**完結**］

■発行日　1992年5月30日第1刷発行

■著者　相田　洋

■発行　日本放送出版協会
東京都渋谷区宇田川町41—1
郵便番号：150
電話番号：03-3464-7311
振替：東京1—49701

■印刷・製本　凸版印刷株式会社

■装幀　竹内宏一

ISBN4-14-080019-4　C1055

全4巻の目次

上 新・石器時代／トランジスタの誕生／敗戦日本のパイオニアたち／接合トランジスタの発明／模倣は独創の始まり／日米の蜜月時代／ポケットラジオへの挑戦

中 ゲルマニウムの限界／半導体史上の二大発見／テレビが時代の幕を切った／シリコンバレーの一粒の種／シリコンの申し子たち／宇宙開発競争と集積回路

下 日本独自の新技術／国産集積回路の開発／日本の計算機づくりの歩み／電卓時代の到来／ナトリウム・パニックの誕生／アメリカからのノウハウ／電卓戦争の勝者と敗者／日本の電卓から世界の電卓へ

完結 知能をもった道具の登場／半導体メーカーの興亡／マイクロプロセッサーの誕生／資本主義から“技本主義”へ／半導体関連技術の競演／異能集団の技術統合／半導体工場の空気と水／「マイクロプロセッサー王国」日本

ISBN4-14-080019-4 C1055 P1500E ■定価1,500円（本体1,456円）